

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## **Obrobitelnost neželezných slitin**

## Machining of Non-ferrous Alloys

Student:

Bára Matušková

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

## Zadání bakalářské práce

Student: **Bára Matušková**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**  
Téma: **Obrobitelnost neželezných slitin**  
**Machining of Non-ferrous Alloys**  
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika obrábění neželezných slitin.
3. Výběr vhodné metodiky pro neželezné slitiny.
4. Diskuse experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:


KOCMAN, Karel a PROKOP Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.  
FOREJT, Milan a PÍŠKA Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.  
NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. Žilina: EDIS Žilina. 2007, 243s. ISBN 978-80-8070-711-8.  
SADÍLEK, M.; DUBSKÝ, J. *Obrábění I – Výběr přednášek*. 2015. VŠB – TU Ostrava, 137 s., ISBN 978-80-246-3857-1  
AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Překl. M. Kudela. 1. vyd. Praha : Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

  
doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

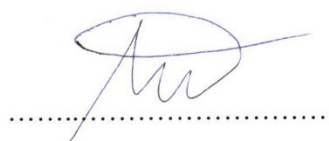


### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použila informace a podklady z firmy Pramet Tools, s. r. o., Šumperk, firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 21. května 2018

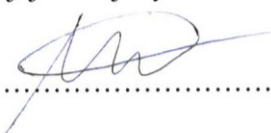


Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědoma, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018.



.....

Podpis autora práce

**Jméno a příjmení autora práce:**

Bára Matušková

**Adresa trvalého pobytu autora práce:**

Prievidzská 9, Šumperk, 787 01

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

MATUŠKOVÁ, B. *Obrobitelnost neželezných slitin: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2018, 49 s. Vedoucí práce: Vrba, V.

Bakalářská práce je zaměřena na neželezné kovy a jejich slitiny. V první části této práce je zaměření firmy DormerPramet a rozdělení neželezných kovů. V další části je práce zaměřena na vlastnosti hliníku a jeho slitin, mědi a jejích slitin a ostatních slitin neželezných kovů. V hlavní části práce je posouzení vlivu úpravy řezné hrany na zalepování vyměnitelné břitové destičky při obrábění hliníkové slitiny – superduralu. Dále byly porovnány dvě vyměnitelné břitové destičky konkurenčních společností z hlediska řezného výkonu za stejných záběrových podmínek, taktéž na slitině hliníku. V závěru práce je technicko – ekonomické zhodnocení dosažených výsledků.

## **ANNOTATION OD BACHELOR THESIS**

MATUŠKOVÁ, B. *Machining of Non-ferrous Alloys: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2018, 49 p. Thesis head: Vrba, V.

The Bachelor thesis is focused on non-ferrous metals and their alloys. In the first part on this thesis is the focus of DormerPramet and division of non-ferrous metal. In the next part of the thesis is focused on the properties of aluminium and it's alloys, copper and their alloys and others alloys. In the main part on the thesis is the assessment of the influence of cutting edge, on the sealing of replaceable plates in the machining of aluminium alloy – superdural. Were compared two interchangeable, brittlenesses of competing companies in terms of cutting performance under the same machining conditions, as the alloy of aluminium. At the end of thesis, we summarize the technical and economic evaluation of the achieved results is made.

# Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ .....	8
ÚVOD .....	9
1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU .....	10
1.1 Společnost DormerPramet.....	10
2 PROBLEMATIKA OBRÁBĚNÍ NEŽELEZNÝCH SLITIN .....	11
2.1. Technologie obrábění .....	11
2.1.1 Obrobitelnost .....	12
2.2. Neželezné kovy.....	15
2.2.1 Rozdělení slitin neželezných kovů .....	15
2.2.2 Tepelné zpracování neželezných kovů .....	17
2.2.3 Značení neželezných kovů a jejich slitin.....	18
2.3 Hliník a jeho slitiny.....	19
2.3.1 Historie hliníku .....	19
2.3.2 Vlastnosti hliníku.....	20
2.3.3 Slitiny hliníku .....	20
2.4 Měď a její slitiny.....	24
2.4.1 Historie mědi .....	24
2.4.2 Vlastnosti mědi.....	25
2.4.3 Slitiny mědi .....	25
2.5 Ostatní neželezné slitiny .....	29
2.5.1 Slitiny hořčíku .....	29
2.5.2 Slitiny zinku.....	30
2.5.3 Slitiny cínu.....	30
2.5.4 Slitiny olova.....	30
2.5.5 Slitiny titanu .....	31
2.5.6 Slitiny niklu .....	31
3 VÝBĚR VHODNÉ METODIKY PRO NEŽELEZNÉ SLITINY .....	32
3.1 Frézování hliníkové slitiny .....	35
3.2 Porovnání technologií úprav řezné hrany .....	36
4 DISKUZE EXPERIMENTŮ .....	37
4.1 Vzorek č.1 - OTEC .....	38
4.2 Vzorek č.2 - GRAF .....	39
4.3 Vzorek č.3 – Bez úpravy mikrogeometrie řezné hrany .....	40
4.4 Zhodnocení vlivu úpravy mikrogeometrie .....	41
5 TECHNICKO-HOSPODÁŘSKÉ ZHODNOCENÍ.....	42

6	ZÁVĚR .....	44
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	46
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	49
	SEZNAM TABULEK.....	49

## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Zkratka/symbol	Popis	Jednotka
ČSN	Česká státní norma	
IACS	International Annealed Copper standart	
VBD	Vyměnitelná břitová destička	
PVD	Physical Vapour Deposition	
HB	Tvrdost podle Brinella	
A	Tažnost	[%]
R <sub>e</sub>	Mez kluzu	[MPa]
R <sub>m</sub>	Mez pevnosti	[MPa]
K <sub>v</sub>	Součinitel obrobitelnosti	[-]



# ÚVOD

V dnešní době, kdy je obrábění velice populární, nás musí zajímat zejména obrobitelnost jednotlivých materiálů. Je to jedna z nejdůležitějších vlastností, která ovlivňuje volbu řezných podmínek a tím zajišťuje správnou funkci nástroje.

Obrobitelnost závisí na chemickém složení, mikrostruktuře, způsobu výroby a tepelném zpracování daného materiálu. Dále závisí na zvolené metodě obrábění a na druhu a vlastnostech nástrojového materiálu.

Největší požadavky jsou kladeny na produktivitu a hospodárnost výroby, proto musíme zvolit nástroje s vhodnou geometrií a optimální řezné a záběrové podmínky.

Pro obrábění neželezných kovů a jejich slitin jsou hojně využívány vyměnitelné břitové destičky vyrobené ze slinutých karbidů. Největší skupinou mezi neželeznými kovy jsou slitiny hliníku obsahující méně než 12-13 % křemíku, dále hořčíkové slitiny a slitiny mědi. Mezi nejběžnější obráběné součásti patří hlavy válců, bloky motorů nebo třeba skříně převodovek.

Bakalářská práce se zabývá problematikou obrábění superduralu, který je zástupcem neželezných kovů a byla realizována ve spolupráci s firmou DormerPramet, která vyrábí vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu.

# 1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU

V technologii obrábění zkoumáme a analyzujeme vzájemné souvislosti a faktory obráběcího procesu. Tento proces je ovlivňován obráběcími stroji, řeznými nástroji a řezným prostředím.

Řezné nástroje, které vyrábí společnost DormerPramet, jsou vyrobeny ze slinutého karbidu. Požadavkem je, aby měly co největší otěruvzdornost a současně i velkou houževnatost. Tyto destičky jsou povlakované, a to z důvodu vyšší trvanlivosti a menšímu opotřebení nástroje. Velmi důležité je, aby destičky za sebou zanechávaly kvalitně obrobený povrch tak, aby nedocházelo k povrchové deformaci obrobku. V této problematice nám pomáhá dokonalá znalost řezných nástrojů.

V této bakalářské práci budeme posuzovat vliv úpravy mikrogeometrie řezné hrany na zalepování vyměnitelné břitové destičky společnosti DormerPramet. Dále porovnáme dvě vyměnitelné břitové destičky z hlediska řezného výkonu za stejných záběrových podmínek a celkové náklady na obrábění. První destička bude od společnosti DormerPramet., druhá z nejmenované konkurenční firmy.

## 1.1 Společnost DormerPramet

Uskupení DormerPramet vzniklo v roce 2014 spojením výrobce monolitních nástrojů Dormer Tools a společnosti Pramet Tools, která se specializuje na výrobu nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu. Společně tak obě značky mají za sebou více než 150 let starou historii.<sup>1</sup>

Spojení obou značek nám přináší výhodu v doplnění sortimentu na trhu. Svým zákazníkům umožňuje přístup k širokému spektru vysoce kvalitních nástrojů pro všeobecné strojírenství – monolitní nástroje a nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami pro soustružení, frézování, vrtání a závitování.<sup>1</sup>

Společnost má více než 30 poboček, které působí na více než stovce různých tržů po celém světě. Tyto jsou dále podporovány moderními výrobními závody v Evropě a Jižní Americe. Kromě toho mají 5 specializovaných školicích center, a to po celém světě: v České republice, Velké Británii, Švédsku, Rusku a USA.<sup>1</sup>

## 2 PROBLEMATIKA OBRÁBĚNÍ NEŽELEZNÝCH SLITIN

Obrábění neželezných slitin, zejména tedy obrábění hliníkových slitin a slitin mědi se používají zejména pro své široké uplatnění, a to jak ve strojírenském průmyslu, automobilovém ale i v elektrotechnickém.

Slitiny hliníku se řadí do skupiny materiálů, které se jeví jako dobře obrobitelné. Vzhledem k nízké teplotě tavení vznikají problémy s utvářením třísky a jejím odvodem z místa řezu, kde třísky mají tendenci ulpívat na břit, případně na čele nástroje. Vlivem vysoké tepelné vodivosti, se při obrábění odvádí velká část tepla z místa řezu do obrobku a tím vznikají tepelné deformace obrobku. Při obrábění za sucha patří slitiny hliníku mezi problémové materiály. Hliník je v čistém stavu špatně obrobitelný.

S ohledem na zvýšení produktivity obrábění mědi, byly vyvíjeny její slitiny s vhodnými přísadami. Typickým prvkem, který zlepšuje obrobitelnost mědi je olovo, které zlepšuje lámavost třísky. Čistá měď je velmi problematicky obrobitelný materiál právě z důvodu nevhodné tvorby třísky.

### 2.1. Technologie obrábění

Obrábění je technologický proces, při kterém odebíráme materiál ve formě třísky z obráběné plochy materiálu. Vytváříme požadovaný tvar obrobku v daných rozměrech a v daném stupni přesnosti. Tento proces probíhá v soustavě: stroj – nástroj – obrobek – přípravek. Metody obrábění se dělí podle charakteristických znaků břitové geometrie:

- obrábění s definovanou geometrií (soustružení, frézování, vrtání, protahování),
- obrábění s nedefinovanou geometrií (dokončovací operace – broušení, lapování, honování atd.),
- nekonvenční metody obrábění (např. elektroerozivní obrábění, obrábění vodním paprskem),
- úpravy obrobených ploch (válečkování, leštění, brokování).<sup>2,3</sup>

### 2.1.1 Obrobitelnost

Obrobitelnost materiálů je komplexní vlastností, která závisí na jeho mechanických a fyzikálních vlastnostech ovlivněných jeho chemickým složením a mikrostrukturou. U mechanických vlastností jde především o pevnost, tvrdost a houževnatost. Z fyzikálních vlastností je obrobitelnost materiálu závislá na tepelné vodivosti, na měrném teple a tření. Obecně ji lze posuzovat z hlediska vlivu materiálu na intenzitu otěru, energetické bilance procesu řezání a také jejich vlivu na proces tvorby třísky a vytváření nového povrchu na obrobku. Obrobitelnost lze definovat jako míru schopnosti daného materiálu být zpracován některou z metod obrábění. Je hlavním činitelem pro volbu řezných podmínek a pro funkci nástroje.<sup>3, 4, 5</sup>

Z hlediska charakteristik obrobitelnosti a řezivosti se obrobitelnost i řezivost dělí na absolutní a relativní:

**Absolutní obrobitelnost**, respektive řezivost je charakterizována buď funkčním vztahem a parametry, nebo určitou velikostí dané veličiny.<sup>3</sup>

**Relativní obrobitelnost**, neboli řezivost je charakterizována bezrozměrnými čísly, která udávají poměr velikostí určité veličiny, a sice poměr velikostí této veličiny vztahující se k danému materiálu obrobku, resp. k nástroji a velikostí této veličiny odpovídající referenčnímu materiálu obrobku, resp. nástroji.<sup>3</sup>

Pro vyhodnocení obrobitelnosti jsou technické konstrukční materiály rozděleny do devíti základních skupin a označovány malými písmeny:

a – litiny	f – přírodní nerostné hmoty
b – oceli	g – vrstvené hmoty
c – těžké neželezné kovy	h – pryže
d – lehké neželezné kovy	v – tvrzené litiny pro výrobu válců
e – plastické hmoty <sup>3</sup>	

## Součinitel obrobitelnosti

Základním technickým podkladem pro spolehlivou a jednoznačnou volbu součinitele obrobitelnosti  $K_V$  je Celostátní normativ: Obrobitelnost materiálů „, CNN 10-0-I/II vydaný VUSTE v roce 1977. Hodnota součinitele  $K_V$  je dána poměrem. <sup>4,5</sup>

$$K_V = \frac{v_{T/VB} \text{ zkoušeného materiálu}}{v_{T/VB} \text{ referenčního materiálu}}$$

nebo

$$K_V = \frac{C_{v \text{ zkoušeného materiálu}}}{C_{v \text{ referenčního materiálu}}} \cdot T^{\left(\frac{1}{m_{et}} - \frac{1}{m_{zk}}\right)}$$

kde,

$v_{T/VB}$  zkoušeného materiálu odpovídá  $v_{15zk}$  ( $m \cdot min^{-1}$ ), což je řezná rychlost  $v_c$  při trvanlivosti  $T_n = 15$  minut pro zkoušený (sledovaný) materiál. <sup>3</sup>

$v_{T/VB}$  referenčního materiálu odpovídá  $v_{15ref}$  ( $m \cdot min^{-1}$ ), což je řezná rychlost  $v_c$  při trvanlivosti  $T_n = 15$  minut pro referenční materiál. <sup>3</sup>

Referenční materiály v jednotlivých skupinách mají  $K_V = 1$ . Pro soustružení se hodnota trvanlivosti obvykle volí  $T = 15$  min a opotřebení hřbetu = 0,3 až 0,4 mm. <sup>5</sup>

## Referenční materiály

Pro každou skupinu materiálu je stanoven materiál referenční, ke kterému se vztahuje relativní obrobitelnosti ostatních materiálů ve skupině. <sup>5</sup>

a – ČSN 42 2424

b – ČSN 12 050.1

c – ČSN 42 3213.21

d – ČSN 42 4380.11

## Třída obrobitelnosti

V jednotlivých skupinách se materiály zařazují do 20 tříd obrobitelnosti (oceli), ostatní materiály jsou zařazeny do 8 tříd. Třídy obrobitelnosti se vztahují k příslušným součinitelům obrobitelnosti, které jsou odstupňovány podle geometrické řady, s kvocientem  $q = 10^{1/10} = 1,2589$ . V tomto systému jsou materiály (ocel) s nejlepší obrobitelností, tedy s nejvyšší hodnotou  $K_v$  zařazeny do třídy 20 a materiály s nejhorší obrobitelností do třídy 1 s nejnižší hodnotou  $K_v$ .<sup>4</sup>

Odstupňování tříd obrobitelnosti je uvedeno v následující tabulce:

*Tabulka 1 - Součinitele obrobitelnosti a korespondující třídy obrobitelnosti*<sup>5</sup>

Součinitel obrobitelnosti $K_v$		Třída obrobitelnosti pro skupinu materiálů			
od-do	střední hodnota	a	b	c	d
0,045 - 0,054	0,050		1 b		
0,055 - 0,069	0,065		2 b		
0,07 - 0,089	0,80		3 b		
0,09 - 0,11	0,10		4 b		
0,12 - 0,14	0,13		5 b		
0,15 - 0,17	0,16		6 b		
0,18 - 0,221	0,20		7 b		
0,23 - 0,28	0,25		8 b		
0,29 - 0,35	0,32		9 b		
0,36 - 0,44	0,40	6 a	10 b	7 c	6 d
0,45 - 0,56	0,50	7 a	11 b	8 c	7 d
0,57 - 0,71	0,63	8 a	12 b	9 c	8 d
0,72 - 0,89	0,80	9 a	13 b	10 c	9 d
0,90 - 1,12	1	10 a	14 b	11 c	10 d
1,13 - 1,41	1,26	11 a	15 b	12 c	11 d
1,42 - 1,78	1,59	12 a	16 b	13 c	12 d
1,79 - 2,24	2,0	13 a	17 b	14 c	13 d
2,25 - 2,82	2,5		18 b		
2,83 - 3,55	3,15		19 b		
3,56 - 4,47	4,0		20 b		

Tento systém lze pro lehké i těžké neželezné kovy hodnotit jako spolehlivý a ověřený výzkumnými pracovišti v řadě závodů. Přináší spolehlivé podklady pro klasifikaci obrobitelnosti a pro výpočet optimálních řezných podmínek.<sup>4</sup>

## 2.2. Neželezné kovy

Pod pojmem neželezné kovy, si představíme všechny kovy a slitiny, které mají základní prvek jiný než železo. Používají se zejména kvůli žádoucím vlastnostem, jako je nízká hmotnost (např. hliník), vysoká tepelná a elektrická vodivost (např. měď) nebo odolnost proti korozi (např. zinek). Neželezné kovy v čistém stavu se ve strojírenství používají zřídka kdy, neboť mívají špatné mechanické i technologické vlastnosti. Jsou převážně měkké a mají nízkou pevnost v tahu. Proto se využívají slitiny těchto neželezných kovů a ostatních nekovových prvků. Tyto slitiny mají mnohem lepší vlastnosti než kovy čisté, ze kterých jsou vyrobeny. <sup>6, 7</sup>

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII	VIII	VIII	I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	0
<div>Vodík</div> <div>1</div> <div>H</div> <div>1,00794(7)</div>																	<div>Helium</div> <div>2</div> <div>He</div> <div>4,002602(2)</div>
<div>Lithium</div> <div>3</div> <div>Li</div> <div>6,941(2)</div>	<div>Beryllium</div> <div>4</div> <div>Be</div> <div>9,012182(3)</div>																
<div>Sodík</div> <div>11</div> <div>Na</div> <div>22,989770(2)</div>	<div>Hořčík</div> <div>12</div> <div>Mg</div> <div>24,3040(6)</div>																
<div>Drasel</div> <div>19</div> <div>K</div> <div>39,0983(1)</div>	<div>Vápník</div> <div>20</div> <div>Ca</div> <div>40,078(4)</div>																
<div>Rubidium</div> <div>37</div> <div>Rb</div> <div>85,4678(3)</div>	<div>Stroncium</div> <div>38</div> <div>Sr</div> <div>87,62(1)</div>	<div>Yttrium</div> <div>39</div> <div>Y</div> <div>88,90585(2)</div>	<div>Zirkonium</div> <div>40</div> <div>Zr</div> <div>91,224(2)</div>	<div>Niob</div> <div>41</div> <div>Nb</div> <div>92,90638(2)</div>	<div>Molybden</div> <div>42</div> <div>Mo</div> <div>95,94(1)</div>	<div>Technecium</div> <div>43</div> <div>Tc</div> <div>(98,9063)</div>	<div>Ruthenium</div> <div>44</div> <div>Ru</div> <div>101,07(2)</div>	<div>Rhodium</div> <div>45</div> <div>Rh</div> <div>102,90550(2)</div>	<div>Palladium</div> <div>46</div> <div>Pd</div> <div>106,42(1)</div>	<div>Sitřburo</div> <div>47</div> <div>Ag</div> <div>107,8682(2)</div>	<div>Kadmium</div> <div>48</div> <div>Cd</div> <div>112,411(8)</div>	<div>Indium</div> <div>49</div> <div>In</div> <div>114,818(3)</div>	<div>Cín</div> <div>50</div> <div>Sn</div> <div>118,710(7)</div>	<div>Antimon</div> <div>51</div> <div>Sb</div> <div>121,760(1)</div>	<div>Tellur</div> <div>52</div> <div>Te</div> <div>127,60(3)</div>	<div>Jod</div> <div>53</div> <div>I</div> <div>126,90447(3)</div>	<div>Xenon</div> <div>54</div> <div>Xe</div> <div>131,29(2)</div>
<div>Cesium</div> <div>55</div> <div>Cs</div> <div>132,90545(2)</div>	<div>Baryum</div> <div>56</div> <div>Ba</div> <div>137,327(7)</div>	<div>57-70</div> <div>Lanthanoidy</div>	<div>Helium</div> <div>72</div> <div>Hf</div> <div>178,49(2)</div>	<div>Tantal</div> <div>73</div> <div>Ta</div> <div>180,9479(1)</div>	<div>Wolfram</div> <div>74</div> <div>W</div> <div>183,84(1)</div>	<div>Rhenium</div> <div>75</div> <div>Re</div> <div>186,207(1)</div>	<div>Osmium</div> <div>76</div> <div>Os</div> <div>190,23(3)</div>	<div>Iridium</div> <div>77</div> <div>Ir</div> <div>192,223(3)</div>	<div>Platina</div> <div>78</div> <div>Pt</div> <div>195,078(2)</div>	<div>Zlato</div> <div>79</div> <div>Au</div> <div>196,96655(2)</div>	<div>Rtůť</div> <div>80</div> <div>Hg</div> <div>200,59(2)</div>	<div>Thallium</div> <div>81</div> <div>Tl</div> <div>204,3833(2)</div>	<div>Olovo</div> <div>82</div> <div>Pb</div> <div>207,2(1)</div>	<div>Bismut</div> <div>83</div> <div>Bi</div> <div>208,98039(2)</div>	<div>Pořekum</div> <div>84</div> <div>Po</div> <div>(209,9824)</div>	<div>Ařet</div> <div>85</div> <div>At</div> <div>(209,9871)</div>	<div>Radon</div> <div>86</div> <div>Rn</div> <div>(222,0176)</div>
<div>Francium</div> <div>87</div> <div>Fr</div> <div>(223,0187)</div>	<div>Radium</div> <div>88</div> <div>Ra</div> <div>(226,0254)</div>	<div>89-102</div> <div>Aktinoidy</div>	<div>Rutherfordium</div> <div>104</div> <div>Rf</div> <div>(261,10)</div>	<div>Dubnium</div> <div>105</div> <div>Db</div> <div>(262,1144)</div>	<div>Seeborgium</div> <div>106</div> <div>Sg</div> <div>(263,1188)</div>	<div>Bořrium</div> <div>107</div> <div>Bh</div> <div>(264,12)</div>	<div>Hassium</div> <div>108</div> <div>Hs</div> <div>(265,1308)</div>	<div>Moscovium</div> <div>109</div> <div>Mt</div> <div>(268)</div>	<div>Ununennium</div> <div>110</div> <div>Uun</div> <div>(289)</div>	<div>Ununennium</div> <div>111</div> <div>Uuu</div> <div>(289)</div>	<div>Ununennium</div> <div>112</div> <div>Uub</div> <div>(277)</div>						
<div><div>nekovy</div><div>alkalické kovy</div><div>alkalické zemní kovy</div><div>vřácné plyny</div><div>halogeny</div><div>metalloidy</div><div>přechodné kovy</div><div>říné kovy</div><div>vřácné zemříné prvky</div></div>																	
<div><div>Lanthanoidy:</div><div><div>Lanthan</div><div>57</div><div>La</div><div>138,905(2)</div></div><div><div>Cer</div><div>58</div><div>Ce</div><div>140,116(1)</div></div><div><div>Praseodym</div><div>59</div><div>Pr</div><div>140,90765(2)</div></div><div><div>Neodym</div><div>60</div><div>Nd</div><div>144,24(3)</div></div><div><div>Promethium</div><div>61</div><div>Pm</div><div>(144,9127)</div></div><div><div>Samarium</div><div>62</div><div>Sm</div><div>150,36(3)</div></div><div><div>Europium</div><div>63</div><div>Eu</div><div>151,964(1)</div></div><div><div>Gadolinium</div><div>64</div><div>Gd</div><div>157,25(3)</div></div><div><div>Terbium</div><div>65</div><div>Tb</div><div>158,92534(2)</div></div><div><div>Dysprosium</div><div>66</div><div>Dy</div><div>162,50(3)</div></div><div><div>Holmium</div><div>67</div><div>Ho</div><div>164,93032(2)</div></div><div><div>Erbium</div><div>68</div><div>Er</div><div>167,26(3)</div></div><div><div>Thulium</div><div>69</div><div>Tm</div><div>168,93421(2)</div></div><div><div>Ytterbium</div><div>70</div><div>Yb</div><div>173,04(3)</div></div><div><div>Lutecium</div><div>71</div><div>Lu</div><div>174,967(1)</div></div></div>																	
<div><div>Aktinoidy:</div><div><div>Actinium</div><div>89</div><div>Ac</div><div>(227,0277)</div></div><div><div>Thorium</div><div>90</div><div>Th</div><div>232,0381(1)</div></div><div><div>Protaktinium</div><div>91</div><div>Pa</div><div>231,03689(2)</div></div><div><div>Uran</div><div>92</div><div>U</div><div>238,02891(1)</div></div><div><div>Neptunium</div><div>93</div><div>Np</div><div>(237,0482)</div></div><div><div>Plutonium</div><div>94</div><div>Pu</div><div>(244,0642)</div></div><div><div>Amercium</div><div>95</div><div>Am</div><div>(243,0614)</div></div><div><div>Curium</div><div>96</div><div>Cm</div><div>(247,0703)</div></div><div><div>Berkelium</div><div>97</div><div>Bk</div><div>(247,0703)</div></div><div><div>Kalifornium</div><div>98</div><div>Cf</div><div>(251,0796)</div></div><div><div>Einsteinium</div><div>99</div><div>Es</div><div>(252,0830)</div></div><div><div>Fermium</div><div>100</div><div>Fm</div><div>(257,0951)</div></div><div><div>Mendelevium</div><div>101</div><div>Md</div><div>(258,0984)</div></div><div><div>Nobelium</div><div>102</div><div>No</div><div>(259,1011)</div></div><div><div>Lorenium</div><div>103</div><div>Lr</div><div>(262,116)</div></div></div>																	

Obr. 1 – Periodická tabulka prvků <sup>8</sup>

### 2.2.1 Rozdělení slitin neželezných kovů

Neželezné kovy a jejich slitiny se rozdělují dle různých hledisek. Nejčastěji se rozlišují podle základního prvku, hustoty, technologie zpracování, tavicí teploty a dalších kritérií. <sup>7</sup>

**Dle základního prvku** – prvek, který ve slitině zaujímá více než 50 % obsahu.

Například:

- slitiny hliníku,
- slitiny mědi,
- slitiny hořčíku. <sup>6, 7</sup>

**Dle hustoty** – rozmezí mezi oběma skupinami se přibližně udává hustota  $5000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ :

- lehké (především slitiny hliníku a hořčíku, ale i titanu),
- těžké (především slitiny mědi, niklu, kobaltu, zinku, olova, cínu). <sup>6, 7</sup>

**Dle teploty tavení:**

- kovy s nízkou teplotou tavení (asi do  $600^\circ\text{C}$ ) – např. olovo, zinek, cín,
- kovy se střední teplotou tavení (do  $1\,500^\circ\text{C}$ ) – např. měď, nikl, kobalt,
- kovy s vysokou teplotou tavení (nad  $1\,500^\circ\text{C}$ ) – např. chrom, vanad, molybden. <sup>6, 7</sup>

**Dle technologie** – technologie, která se používá pro zpracování slitin:

- slévárenské slitiny,
- slitiny pro tváření. <sup>6, 7</sup>

**Dle objemu výroby odlitků** – nejpoužívanější jsou slitiny hliníku. Jejich podíl představuje více než 90 % hmotnosti všech odlitků z neželezných slitin. Je výhodný z mnoha hledisek. Tyto slitiny mají výborný poměr mezi hmotností a mechanickými vlastnostmi, dobré technologické vlastnosti a z hlediska nákladu mají příznivou cenu. <sup>7</sup>

**Ušlechtilé kovy** se zařazují do samostatné skupiny. Patří do ní zlato, stříbro, platina nebo také rhodium. <sup>6, 7</sup>



## **2.2.2 Tepelné zpracování neželezných kovů**

Způsoby tepelného zpracování neželezných kovů:

- rekrystalizační žíhání,
- žíhání k odstranění pnutí,
- homogenizační žíhání,
- vytvrzování pro zvýšení pevnosti a tvrdosti. <sup>9</sup>

### **Rekrystalizační žíhání**

Používá se u materiálů po jejich tváření za studena. Je to obdoba rekrystalizačního žíhání u ocelí nebo litin. Žíhací teploty závisí na druhu materiálu, předchozím způsobu tváření a požadovanými vlastnostmi výrobku. Teploty u hliníkových slitin se pohybují v rozmezí 250-350 °C, u slitin mědi jsou teploty od 250-800 °C. <sup>9</sup>

### **Žíhání k odstranění pnutí**

Tento způsob žíhání se používá k odstranění pnutí, které vzniká v materiálu nerovnoměrným chladnutím odlitků, jiným tepelným zpracováním nebo například obráběním za vysokých řezných tlaků. Žíhací teploty jsou nižší než rekrystalizační, podle druhu materiálu se pohybují od 180 do 350 °C. <sup>9</sup>

### **Homogenizační žíhání**

Účelem homogenizačního žíhání je odstranění heterogenity struktury materiálu a může být dvojího druhu:

- odmíšeniny příměsí – hromadí se v částech odlitku a tuhnou až poslední,
- vrstevnatost krystalů tuhého roztoku – lze poměrně snadno odstranit pomocí difúze. <sup>9</sup>

## Vytvrzování pro zvýšení pevnosti a tvrdosti

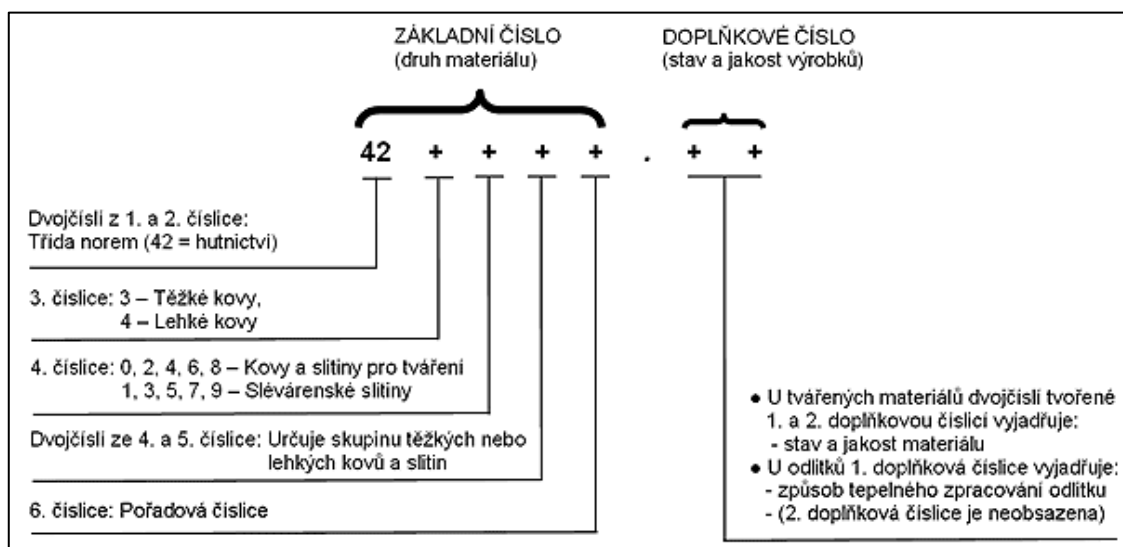
Provádí se zejména ke zvýšení pevnosti, tvrdosti a meze kluzu u hliníkových a měděných slitin. Vytvrzování můžeme popsat čtyřmi kroky:

- ohřev slitiny na teplotu do oblasti tuhého roztoku,
- rozpouštěcí žíhání – vznikne homogenní tuhý roztok,
- rychlé ochlazení (zakalení) do vody nebo oleje,
- stárnutí – přechod slitiny z nerovnovážného stavu do částečně rovnovážného stavu.<sup>9</sup>

### 2.2.3 Značení neželezných kovů a jejich slitin

Neželezné slitiny se značí číselně nebo chemickými značkami. Číselné značení je určené z podnikových, národních nebo jiných norem. Na obr.1. je příklad značení dle ČSN 42 0055 Chemické složení slitiny nevyplývá z číselného značení.<sup>7</sup>

Naopak značení chemickými značkami uvádí střední obsah hlavních prvků v procentech. První pozice patří základnímu prvku a další místa tvoří značky přísadových prvků, jejichž pořadí je závislé na jejich obsahu. Číslice za značkou prvku značí jeho střední obsah ve slitině. Například – CuAl9Mn2 označuje hliníkový bronz s obsahem 9 % hliníku a 2 % manganu.<sup>7</sup>



Obr. 2 – Značení neželezných slitin dle ČSN 42 0055<sup>10</sup>

## 2.3 Hliník a jeho slitiny

Hliník je nejrozšířenější kov a třetí nejčtenější prvek v zemské kůře. Tvoří zhruba 8 % zemské kůry. Je vázán ve sloučeninách jako je bauxit, korund, kryolit, kaolin a jiné. Hliník a jeho slitiny jsou velice důležité pro letecký průmysl, ale také pro stavebnictví, strojírenství, automobilový a elektrotechnický průmysl.<sup>7</sup>



Obr. 3 – Hliník<sup>11</sup>

### 2.3.1 Historie hliníku

První pokusy o výrobu hliníku pocházejí z roku 1760. Až v roce 1824 byl dokončen první úspěšný pokus dánským chemikem a fyzikem Christianem Ørstedem, který provedl chemickou redukci draslíkem. Tuto metodu v roce 1845 zlepšil francouzský chemik H. S. C. Deville, který k redukci použil sodík, čímž zkvalitnil a zlevnil výrobu hliníku. V roce 1886 patentovali, nezávisle na sobě, Paul T. Héroult ve Francii a Charles M. Hall v USA metodu elektrolytické výroby hliníku z bauxitu v lázni roztaveného kryolitu.<sup>7, 12, 13</sup>

Průmyslová výroba hliníku byla zahájena v roce 1888. Od roku 1903 začaly pokusy s využitím hliníku v konstrukci motorů, zejména po výrobu pístů. V roce 1906 byla vyvinuta první slitina hliníku, známá jako dural (AlCu4Mg). Tato slitina znamenala převrat ve stavbě vzducholodí a letadel. Velký rozvoj výroby hliníkových slitin přinesly obě světové války, kdy se hliníkové slitiny začaly masivně používat při stavbě letadel. K prudkému nárůstu výroby hliníkových odlitků došlo po 2. světové válce rozšířením technologie odlévání do kovových forem, a to zvláště tlakovým litím.<sup>7</sup>

### 2.3.2 Vlastnosti hliníku

Hliník je stříbřitě bílý kov s šedým nádechem, je lehký a má dobrou tvárnost a svařitelnost.<sup>7</sup>

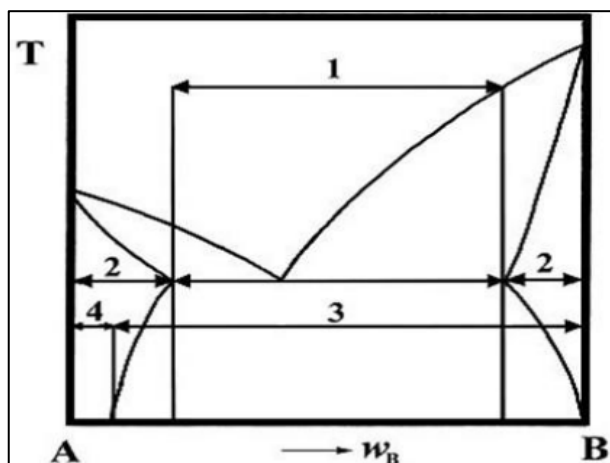
- Hustota  $2\,700\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,
- teplota tání  $660\text{ °C}$ ,
- teplota vypařování  $2\,520\text{ °C}$ .

Má vysokou tepelnou a elektrickou vodivost. Tepelná vodivost čistého hliníku dosahuje při  $20\text{ °C}$  až  $235\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Elektrická vodivost hliníku je asi 60 % elektrické vodivosti mědi. Čistý hliník je špatně slévateľný, ale má dobrou korozní odolnost. Jako konstrukční materiál je nepoužitelný.<sup>6,7</sup>

### 2.3.3 Slitiny hliníku

Slitiny hliníku využíváme pro vyšší tvrdost, pevnost, pro odolnost vůči korozi nebo otěru, vyšším teplotám anebo únavě. Podle hlavního přísadového prvku rozlišujeme základní typy slitin s názvy:<sup>7,14</sup>

- siluminy (Al-Si),
- duraly (Al-Cu),
- hydronalium (Al-Mg).



- 1 Slévářenské slitiny
- 2 Slitiny určené ke tváření
- 3 Precipitačně vytvrditelné slitiny
- 4 Precipitačně nevytvrditelné slitiny

Obr. 4 – Druhy slitin hliníku<sup>15</sup>

## **SLÉVÁRENSKÉ SLITINY**

Slévárenské slitiny hliníku mají zpravidla hlavní přísadový prvek křemík, měď nebo hořčík, mezi méně používané patří zinek a mangan. Teplota roztaveného kovu bývá v rozmezí 700-750 °C. Tyto slitiny jsou určeny k výrobě tvarových odlitků litím do pískových i kovových forem, nebo formou tlakového lití. Mechanické vlastnosti závisí na způsobu odlévání. Maximální pevnost bývá asi 250 MPa.<sup>6, 7, 16</sup>

### **Slitiny s křemíkem (Binární siluminy)**

Tyto slitiny se nazývají siluminy a patří k nejvýznamnějším slitinám hliníku. Jejich hlavním přísadovým prvkem je křemík. Vyšší obsah křemíku zmenšuje interval tuhnutí a zlepšuje zabíhavost a technologické vlastnosti. Nejlepší slévárenské vlastnosti mají siluminy s eutektickým složením (asi 12 % křemíku). Mechanické vlastnosti zvyšujeme legováním malými obsahy mědi, hořčíku a niklu.<sup>7, 17, 18</sup>

### **Slitiny s hořčíkem**

Slitiny s hořčíkem mají zvýšenou odolnost vůči korozi, a proto se využívají ke stavbě lodních konstrukcí a také v chemickém a potravinářském průmyslu. Tyto slitiny mají obchodní označení hydronalium. Pokud obsahují i křemík, používá se označení pantal.<sup>19</sup>

### **Slitiny s mědí**

Slitiny hliníku s mědí se vyznačují vysokou pevností až nad 400 MPa. Oproti slitinám s křemíkem má až dvojnásobnou tažnost a lomovou houževnatost. Odlitky jsou vhodné pro použití za zvýšených teplot. Slévárenské vlastnosti jsou velmi špatné z důvodu dlouhého intervalu tuhnutí, tudíž jsou slitiny špatně nálitkovatelné. Stále častěji se nahrazují siluminy.<sup>7</sup>

### **Slitiny se zinkem**

Slitiny na bázi zinku s dalšími přísadovými prvky (měď, hořčík, křemík) se vyznačují dobrou slévatelností a dobrými mechanickými vlastnostmi.<sup>20</sup>

## **SLITINY URČENÉ KE TVÁŘENÍ**

Kritérium pro dělení slitin ke tváření může být jejich schopnost zvýšit tvrdost a pevnost tepelným zpracováním. Proto tyto slitiny můžeme dělit na vytvrditelné a nevytvrditelné slitiny. Tato schopnost souvisí s chemickým složením slitin., tedy jejich polohou v rovnovážném stavu diagramu odpovídající soustavy. <sup>21</sup>

### **VYTVRDIRTELNÉ SLITINY PRO TVÁŘENÍ**

#### **Slitiny s mědí a hořčíkem**

Mezi nejznámější slitiny hliníku patří Al-Cu4-Mg také známá pod názvem dural. Z pravidla obsahuje 90-96 % hliníku a 4-6 % mědi s menšími přísadami hořčíku, manganu aj. Ve vytvrzeném stavu má pevnost kolem 400 MPa ale má malou odolnost vůči korozi, proto se povlakuje hliníkem. Dural je oproti čistému hliníku nepatrně hustší ( $2,8 \text{ g/cm}^3$ ), ale až pětikrát pevnější v tahu a je i tvrdší. Snadno se obrábí. Slitina se zvýšeným obsahem hořčíku Al-Cu4-Mg1 se nazývá superdural. Jeho pevnost je více než 400 MPa. Využíváme hlavně v leteckém průmyslu. <sup>6, 22</sup>

#### **Slitiny s hořčíkem a křemíkem**

Používáme dva typy slitin, kde přísadový prvek obsahuje 0,5 % nebo 1 %. Obě slitiny jsou dobře tvářitelné za tepla, přičemž můžeme dosáhnout meze pevnosti v tahu až 350 MPa. Velmi dobře se svařují a jsou tvárné. Využití hlavně v automobilovém průmyslu, kde jsou využívány pro součásti karoserií nebo jako žebrované hlavy válců. <sup>20, 21</sup>

#### **Slitiny s lithiem**

Slitina hliníku s lithiem se využívá především v leteckém průmyslu. Lithium je vzácný a nejlehčí kov, jeho hustota je  $544 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Cena těchto slitin je třikrát vyšší než u ostatních slitin. <sup>20</sup>

## NEVYTVRDITELNÉ SLITINY PRO TVÁŘENÍ

### Slitiny s manganem

Ze slitiny AlMn1 se vyrábí plechy a pásy s dobrou tvařitelností, korozní odolností i svařitelností. Ve tvrdém stavu je mez pevností kolem 200 MPa, ovšem A pouze 4 %. <sup>20</sup>

### Slitiny s hořčíkem

Hořčík výrazně zvyšuje pevnost slitiny. Většinou se leguje 2, 3, 5 a vyjímečně 7 % hořčíku. Z plechů ze slitiny AlMg2 se vyrábí víčka pro nápojové plechovky. Slitina AlMg5 splňuje požadavky na použití pro karoserie automobilu. Slitina AlMg4 je velmi dobře odolná vůči mořské vodě, proto se používá při stavbě lodí. Největší předností slitin s hořčíkem, je jejich chování při nízkých teplotách. <sup>20</sup>

## POUŽITÍ HLINÍKU A JEHO SLITIN

Hliník a jeho slitiny se nejčastěji využívají v automobilovém a potravinářském průmyslu, ve strojírenství, ve stavebnictví, v letectví a také v elektrotechnice. <sup>16</sup>



Obr. 5 – Alobal-čistý hliník <sup>11</sup>



Obr. 6 – Odlitek z hliníkové slitiny <sup>11</sup>

## 2.4 Měď a její slitiny

Měď je těžký neželezný kov se střední teplotou tání. Nachází se ve sloučeninách a to nejčastěji ve formě sulfidů. Vyrábí se ze sulfidových rud jako je chalkopyrit, kuprit, malachit, azurij aj. Ryzí měď se vyskytuje velmi vzácně. Měď je základním přísadovým prvkem spousty důležitých slitin a je nepostradatelná v elektrotechnice.<sup>6, 7</sup>



*Obr. 7 – Měď<sup>23</sup>*

### 2.4.1 Historie mědi

Měď je pro člověka známá jako základní materiál již od pravěku. Slitiny mědi se začali používat již v 5. tisíciletí před n.l. jako první ze současných technických slitin. Začátky výroby se datují k 2. tisíciletí před n.l. a pochází zejména z oblasti Egypta, Mezopotámie, Iránu a jihovýchodní Asie odkud se rozšířila do Evropy.<sup>7, 24</sup>

První zpracovatelé mědi zjistili, že ji lze snadno rozklepat do plátů, a proto ji zpracovávali do stále složitějších tvarů. Schopnost odolávat korozi zajistila, že měď, bronz a mosaz se využívaly jako funkční i dekorativní materiály během středověku a následných staletí průmyslové revoluce až do dnešních dnů. Bronz se využíval zejména k výrobě bronzových nástrojů a zbraní, ale také ke šperkařské výrobě. Legendární česká koruna, která platila do roku 1993, byla vyráběna ze speciálního bronzu Cu-Al-Mn v poměru 91:9:1.<sup>7, 24, 25</sup>



## 2.4.2 Vlastnosti mědi

Měď je ušlechtilý kov načervenalé barvy a mezi jeho nejlepší vlastnosti patří velmi vysoká tepelná a elektrická vodivost.

- Hustota  $8\,940\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,
- teplota tání  $1084,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
- tepelná vodivost  $394\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ,
- měrná elektrická vodivost při  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$   $58\text{ m}\cdot\Omega^{-1}\cdot\text{mm}^{-2}$ .<sup>7</sup>

Elektrická vodivost čisté mědi (v rekrystalizačně žíhaném stavu) určuje standart elektrické vodivosti a označuje se jednotkou 100 % IACS (international Annealed Copper Standart). Snížení elektrické vodivosti je následek přísadových prvků a nečistot. Čistá měď má velmi špatné mechanické vlastnosti, nízkou tvrdost a špatnou obrobiteľnosť. Proto se pro jiné, než elektrotechnické účely používají téměř výhradně slitiny mědi.<sup>7</sup>

## 2.4.3 Slitiny mědi

Měď je základním prvkem ve velmi rozmanitém okruhu slitin. U slitin se využívají jejich specifické mechanické, fyzikální i antikorozi vlastnosti, které nejsou u jiných druhů slitin dosažitelné.<sup>7</sup>

Slitiny mědi se dělí do dvou základních skupin – na mosazi a bronz. Některé slitiny se označují podle názvu hlavních prvků – např. chromová měď, nebo specifickými názvy pro slitiny určitého složení – např. pakfong neboli bílá niklová mosaz.

- Mosazi - slitiny mědi a zinku,
- bronz - všechny slitiny mědi s výjimkou soustavy Cu-Zn (kromě mosazi).<sup>7</sup>

## **Mosaz**

Mosaz je slitina mědi a zinku. Mechanické vlastnosti mosazi závisí na hodnotě zinkového ekvivalentu, a to v úzkém rozmezí asi 34 – 45 % zinku. V tomto intervalu vzrůstá tvrdost i pevnost v tahu přibližně na dvojnásobek, pak ale pevnost rychle klesá. Tažnost klesá na méně než polovinu. Slévárenské vlastnosti mosazí jsou díky velmi úzkému pásmu tuhnutí výborné a mají dobrou zabíhavost, Dále se rozděluje na mosazi k tváření a slévárenské mosazi.<sup>7</sup>

### **Mosazi k tváření**

Tato skupina tvoří převážnou část výroby mosazi. Má obsah zinku v rozmezí 5 – 42 %. Přidáním niklu zajistíme vysokou pevnost a odolnost vůči korozi. Tyto mosazi používáme na strojní součásti, armatury nábojnice atd. Mosazi ke tváření se dělí následovně:

#### **Dle obsahu mědi:**

- |                                |                          |
|--------------------------------|--------------------------|
| • Tombak                       | nad 80 % mědi,           |
| • vysokotažná mosaz            | 68 – 70 % mědi,          |
| • mosaz s vyšším obsahem zinku | 63 % mědi,               |
| • kujná mosaz                  | 59 – 60 % mědi,          |
| • šroubová mosaz               | 58 % mědi. <sup>26</sup> |

#### **Dle přísadového prvku:**

- |             |   |
|-------------|---|
| • Cínové    | dobrá odolnost vůči mořské vodě,                                  |
| • manganové | velmi dobré mechanické a antikorozní vlastnosti,                  |
| • hliníkové | pevné, tvrdé a korozivzdorné,                                     |
| • niklové   | vysoká pevnost, odolnost proti korozi,                            |
| • křemíkové | dobře tvářitelné za tepla i za studena,                           |
| • olověné   | dobrá obrobiteľnosť, nízka tvárnosť a houževnatosť. <sup>26</sup> |

## **Slévárenské mosazi**

Jsou to heterogenní slitiny s obsahem mědi 58 – 63 %. Tyto slitiny často obsahují přísadové prvky, jako je olovo, křemík a hliník. Mechanické vlastnosti jsou podstatně horší než u mosazí určených ke tváření, proto se méně používají. Typickou oblastí použití slévárenských mosazí je výroba vodních armatur, součástí čerpadel a další strojní součásti.<sup>7, 26</sup>

## **Bronz**

Bronzy jsou slitiny mědi a dalších prvků s výjimkou zinku, který nikdy není hlavním přísadovým prvkem v bronzu. Názvy bronzů jsou odvozeny od hlavního přísadového prvku. K odlévání slitin mědi se využívají všechny běžné technologie. Převažuje lití do pískových forem. Tlakové lití se používá jen zřídka. S rostoucí rychlostí ochlazování se zjemňuje struktura a celkově se dosahuje vyšších mechanických i dalších vlastností. Nejvýznamějšími skupinami jsou bronz:

- Cínové,
- cínovo-olovněné,
- olovněné,
- hliníkové.<sup>7, 26</sup>

V menším rozsahu se vyrábí slitiny také s niklem, křemíkem, manganem, chromem, kadmíem a beryliem.<sup>7</sup>

## **Cínové bronz**

Základním legujícím prvkem je cín v množství 9–13 %. Cínové bronz někdy obsahují 2 % cínu a 1 % olova. S vyšším obsahem cínu se zvyšuje pevnost, zlepšují se slévárenské vlastnosti a odolnost vůči korozi. Olovo zlepšuje obrobiteľnosť a podporuje samomazací schopnosť ložísk, ale snižuje pevnostní i plastické vlastnosti. Z cínového bronz nejčastěji vyrábíme kluzná ložiska, ozubená kola, čepy, armatury a jiné.<sup>7, 26</sup>

### **Speciální cínové bronzy:**

- Dělovina 10-12 % cínu, dříve se používala na výrobu děl,
- zvonovina 15-22 % cínu, velmi tvrdá, kovově jasný zvuk,
- zrcadlovina 30-33 % cínu, lešitelná, vhodná pro optická zrcadla. <sup>7, 26</sup>

### **Cínovo-olovněné bronzy**

Tyto slitiny jsou často nazývány červenými bronzy. Odlitky z této slitiny mají oproti cínovému bronzu poněkud nižší mechanické vlastnosti, zejména tvrdost. Typickou oblastí použití jsou armaturní odlitky a jiné hydraulické komponenty. <sup>7, 26</sup>

### **Olovněné bronzy**

Slitina bronzu, která se skládá ze směsí krystalů mědi a olova, protože se tato soustava vyznačuje částečnou rozpustností v kapalném stavu a nerozpustností ve stavu tuhém. Malé přídavky niklu, cínu, zinku a manganu zjemňují strukturu a omezují segregaci olova. Předností této slitiny je její dobrá tepelná vodivost a velmi dobré kluzné vlastnosti, proto se používá k výrobě kluzných ložisek pro vysoké tlaky a značné obvodové rychlosti. <sup>7, 26</sup>

### **Hliníkové bronzy**

Hliníkové bronzy se vyznačují mimořádně vysokými mechanickými vlastnostmi, které jednoznačně převyšují ostatní slitiny mědi (kromě beryliového bronzu). Obsahují až 12 % hliníku. Tato slitina má velmi dobrou odolnost proti korozi, únavovému namáhání i otěru. Slitina s obsahem více jak 14 % hliníku je velmi křehká, obtížně obrobitelná a pro obvyklé technické účely téměř nepoužitelná. Nejčastěji se využívá pro součástky odolné vůči mořské vodě, solným roztokům a organickým kyselinám, ale také pro součásti, které jsou namáhány na otěr např. šneková kola. <sup>7, 26</sup>

## 2.5 Ostatní neželezné slitiny

Mezi ostatní neželezné kovy patří hořčík, zinek, cín, olovo, titan, nikl, chrom a jiné. Skupina hořčíkových slitin má v současnosti nejrychlejší nárůst objemu výroby. Slitiny titanu a niklu však spadají do skupiny superslitin dle ISO 513.<sup>7</sup>

### 2.5.1 Slitiny hořčíku

Hořčík byl objeven v roce 1774 a je šestým nejrozšířenějším prvkem a tvoří 2 % hmoty zemské kůry. Vyskytuje se pouze ve sloučeninách, zejména v magnezitu, dolomitu a karnalitu. Významným zdrojem hořčíku je mořská voda, která obsahuje 0,13 %, tj. 1,1 kg hořčíku na m<sup>3</sup> vody.<sup>7</sup>

Vlastnosti hořčíku:

- Hustota 1740 kg · m<sup>-3</sup>,
- teplota tavení 650 °C,
- teplota varu 1107 °C,
- tepelná vodivost 155 W/m · K.<sup>7</sup>

Slitiny hořčíku jsou využívány především z důvodu nízké hustoty (2/3 hustoty hliníku), kombinované s výbornými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi, s relativně dobrou obrobiteľností a možností recyklace. K negativním vlastnostem patří nízká odolnost vůči korozi a větší tepelná roztažnost, než mají slitiny hliníku. Hlavním problémem při obrábění je mimořádně velká afinita hořčíku ke kyslíku. V průběhu obrábění se dostáváme nad bod likvidu a malé třísky hořčíku velmi rychle oxidují – hoří.<sup>7</sup>

Hlavním přísadovým prvkem ve slitinách je výhradně hliník. Do slitin hořčíku se vždy přidává mangan, který zlepšuje odolnost proti korozi. Dále se tyto slitiny legují i zirkoniem a thoriem. Tyto slitiny jsou velmi dobře obrobiteľné, proto volíme ty největší rychlosti obrábění.<sup>6, 7, 20</sup>

Nejznámější slitinou hořčíku je elektron Mg+3-10 %Al+Zn+Mn a jeho hustota je 1,8 kg · dm<sup>3</sup>. Uplatňuje se především v automobilovém průmyslu na lité disky kol.<sup>6, 16</sup>

### 2.5.2 Slitiny zinku

Zinek patří mezi těžké neželezné kovy, jeho hustota je  $7,13 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . V současnosti se vyrábí elektrolyticky ze síranu zinečnatého, jehož přetavením získáme zinek o čistotě 99,99 %. Využívá se především jako ochrana kovů vůči korozi. <sup>6, 20</sup>

Důležité jsou slévárenské slitiny, které jsou na bázi zinku a hliníku a jsou legované dalšími prvky jako je měď nebo hořčík. Tyto slitiny se používají pro výrobu složitých odlitků – karburátory v automobilovém průmyslu. <sup>20</sup>

### 2.5.3 Slitiny cínu

Cín se řadí mezi těžké neželezné kovy s nízkou teplotou tání. Má velmi dobrou odolnost proti korozi. Cín má dvě modifikace,  $\alpha$  zvanou šedý cín, což je šedý prášek a tato modifikace je stálá pod teplotou  $13^\circ\text{C}$  a modifikací  $\beta$  v níž se vyskytuje převážně a nazývá se bílý cín. Modifikace  $\beta$  je stálá nad teplotou  $13^\circ\text{C}$ . Cín se používá především jako ochranný povlak proti korozi pro ostatní materiály a dále k výrobě pájek. <sup>6</sup>

### 2.5.4 Slitiny olova

Olovo je nejtěžší a zároveň nejměkčí neželezný kov, jeho hustota je  $11,34 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Olovo je dobře obrobitelné i slévateľné. Má velmi dobrou odolnost vůči korozi a také vůči chemikáliím. Jeho velká atomová hmotnost se využívá v lékařství i v jaderném průmyslu na ochranné kryty vůči záření. Dříve se olovo využívalo k výrobě akumulátorů. V současnosti se převážně používá pro výrobu měkkých pájek a kompozic. <sup>6, 20</sup>

### 2.5.5 Slitiny titanu

Titan je sedmým nejrozšířenějším kovem v zemské kůře a byl objeven již v 18. století. Je po polymorfni kov s vysokou teplotou tání 1 668 °C. Nejčastěji se používá ve formě slitin, které mají poměrně nízkou měrnou hmotnost a dobré pevnostní podmínky. Je využívám především v lékařství, letectví ale i v potravinářském průmyslu. Řadí se do skupiny superslitin.<sup>20</sup>

- Slitiny  $\alpha$  - přísadové prvky stabilizující fázi alfa jsou Al, Sn, N, O, C,
- slitiny  $\beta$  - přísadové prvky stabilizující fázi beta jsou: Mo, V, Cr, Nb, Ta,
- slitiny  $\alpha+\beta$  (heterogenní) - vzájemný poměr fází je dán charakterem rovnovážného diagramu, obsahem přísad a podmínkami ochlazování.<sup>20</sup>

### 2.5.6 Slitiny niklu

Nikl má výbornou korozní odolnost, dobrou slévateľnost, pájitelnost i svařitelnost. Největší část niklu se spotřebuje jako legura k ocelím. Zbytek se využívá pro výrobu slitin se speciálními fyzikálními vlastnostmi. Jedná se například o slitiny pro výrobu termočlánků, odporové nebo magnetické. Slitiny niklu patří do skupiny superslitin.<sup>6, 20</sup>

#### Použití neželezných slitin v praxi



Obr. 8 – Odlitky ze slitiny zinku<sup>27</sup>



Obr. 9 – Titanová zubní protéza<sup>28</sup>

### 3 VÝBĚR VHODNÉ METODIKY PRO NEŽELEZNÉ SLITINY

Obrobitelnost ovlivňují zejména mechanické a fyzikální vlastnosti daného materiálu. Mezi nejdůležitější mechanické vlastnosti patří pevnost v tahu, mez kluzu a tažnost. Slitiny hliníku jsou nesourodou skupinou materiálu, jedním z extrémů je například elektrotechnický hliník, který je špatně obrobitelný z důvodu vysoké houževnatosti kovu. Na druhé straně jsou siluminy s obsahem Si > 12 %.

Tabulka 2 – Mechanické vlastnosti slitin hliníku <sup>29</sup>

Označení dle EN AW	Označení dle ČSN	Chemické složení	Pevnost v tahu R <sub>m</sub> [MPa]	Mez kluzu Re [MPa]	Tažnost A [%]	Obrobitelnost
1050 A	42 4005	Al99,5	65-95 105-145	20 75	20 4	špatná
2007	42 4254	AlCu4PbMgMn	330-370	210	8	velmi dobrá
2017 A	42 4201	AlCu4Mg	min. 360	240	10	dobrá
2024	42 4203	AlCu4Mg1	min. 400	290	12	velmi dobrá
5083	42 4415	AlMg4,5Mn0,7 AlMg5	min. 270	110	12	dobrá
5754	42 4413	AlMg3	min. 180	80	17	dobrá
6060	42 4401	AlMgSi	min. 120	60	16	přijatelná
6063	42 4401	AlMg0,7Si	min. 130	65	12	dobrá
6082	42 4400	AlSi1MgMn	min. 205	110	14	dobrá
7075	-	AlZn5,5MgCu	min. 470	400	6	velmi dobrá

S ohledem na celkový rozsah dané problematiky jsem se v další části práce soustředila pouze na slitinu hliníku – AlCu4Mg1, která jak je z výše uvedené tabulky zřejmé, leží zhruba ve středu oblasti.



V následující tabulce je porovnání referenčního materiálu pro oceli (materiál 12 050.1) s referenčním materiálem pro lehké neželezné kovy (AlSi5Cu1Mg) a s materiálem, který byl použit v rámci experimentu (AlCu4Mg1).

*Tabulka 3 – Mechanické a fyzikální vlastnosti vybraných materiálů<sup>30</sup>*

	Referenční materiál 12 050.1	Referenční materiál skupiny d ČSN 42 4380.11 - AlSi5Cu1Mg	42 4203.62 - AlCu4Mg1
Tvrdość [HB]	225	85	110
Mez kluzu $R_e$ [MPa]	305	140	290
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	530	230	440
$R_m/R_e$ [-]	1,74	1,64	1,5
Tažnost A [%]	18	9	12
Modul pružnosti [GPa]	211	70	73
Tepelná vodivost [W•m <sup>-1</sup> •K <sup>-1</sup> ]	49	145	170

Vzhledem k referenčnímu materiálu pro oceli (12 050.1), můžeme říci, že menší poměr mezi pevností a mezi kluzu u hliníkových slitin znamená, že dochází k menší plastické deformaci. Menší modul pružnosti nám určuje, že zpětné dopružení v oblasti terciální plastické deformace (oblast mezi obrobkem a hřbetem nástroje) je podstatně větší a proto zde vzniká nežádoucí tření.

Při obrábění hliníkových slitin má proto jednu z rozhodujících rolí geometrie a mikrogeometrie nástroje. Díky jejich nižší mezi pevnosti v tahu, můžeme využít geometrii pozitivnější při které dosahujeme minimálního kontaktu třísky s nástrojem a dochází ke snížení možnosti tvorby nárůstku. Dále tímto minimalizujeme pružné i plastické deformace. Nízké řezné síly nám rovněž umožňují užití vysoké řezné rychlosti, čímž dochází ke snížení deformace v oblasti primární plastické deformace a rovněž ke zkrácení kontaktu mezi třískou a čelem. Celkovým efektem je, že díky těmto jevům, je procentuálně vyšší část tepla odváděna odcházející třískou.

Při obrábění hliníkových a měděných slitin se setkáváme především s problematickým utvářením třísky, adhezí slitiny na čele břitů (tzn. nárůstkování nebo také nalepování). Tyto problémy jsou především spojeny s fyzikálními vlastnostmi obrobku, a to s nízkým bodem tavení, s vyšší houževnatostí, tažností, nízkým modulem pružnosti a jsou typické zejména pro nižší až střední řezné rychlosti.

K lepšímu utváření třísky a jejímu správnému odvodu z místa řezu slouží utvařec třísky, což je přesně definovaná geometrie na čele VBD. Utvařeče vhodné k obrábění hliníkových a měděných slitin jsou zpravidla vysoce pozitivní s dlouhým žlábkem pro utváření třísky.

Samotné provedení řezné hrany má velký vliv na kvalitu obrobeného povrchu a také na míru adheze obrobeného materiálu na čele VBD. Nejvhodnější k obrábění těchto slitin je nástroj s co nejostřejší hranou, která minimalizuje jak napětí v oblasti pod břitem nástroje, tak snižuje napětí i v oblasti primární plastické deformace. Nízký součinitel tření na čele nástroje snižuje napětí v oblasti sekundární plastické deformace. Rovněž nezanedbatelný má i vliv tření na hřbetě nástroje, tedy v oblasti terciální plastické deformace. Ve společnosti DormerPramet se zavedl dvoukrokový (tříkrokový) proces, který zajišťuje nejvhodnější možné parametry řezné hrany:

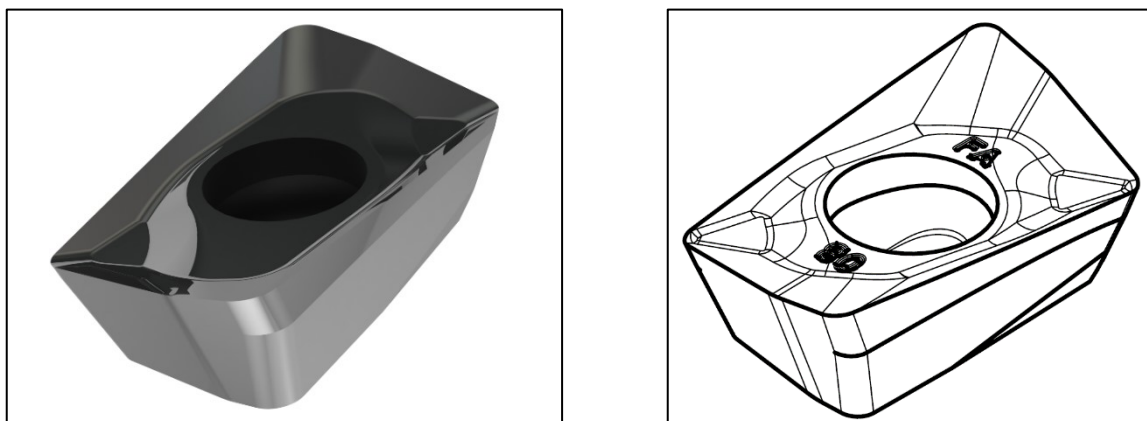
1. **Leštění čelní plochy** – provádí se jako první, protože se během leštění také mimoděk zaoblují řezná hrana leštícím kotoučem. Některé typy se ještě dolešťují ručně.
2. **Obvodové broušení** – následně se VBD obvodově brousí na hřbetu velmi jemným brusným kotoučem. Cílem je dosažení maximálně ostré řezné hrany bez zaoblení.
3. **PVD povlakování** – VBD je možno na závěr povlakovat pro zvýšení její životnosti. Speciální povlak z firmy DormerPramet zaručuje tak hladký povrch. Povlak je tvořen jemnějšími částicemi, než je substrát, proto součinitel tření klesá.

Díky těmto úpravám se minimalizuje riziko nárůstu zaoblení řezné hrany, čímž se snižuje teplo vznikající v místě řezu. Zároveň leštěním zjemňujeme povrch, snižujeme koeficient tření a tím opět snižujeme teplo vznikající třením na čele nástroje. Leštění je také důležité z mechanického hlediska, měkký materiál neulpívá v pórech VBD, ale sklouzne dál po utvařeci třísky.


Adheze, nebo-li nárůstkování, je proces, kdy obrobený materiál ulpívá v mikronerovnostech a v pórech na břitu a přilehlé čelní ploše nástroje. Následně se materiál na sebe vrství a vytváří tak novou nedefinovanou geometrii blízkou k úhlu čela 40°. Tomuto jevu se snažíme zabránit, protože se nárůstek pravidelně nečekaně odlupuje a následný ráz může poškodit ostří nástroje. Nárůstek také způsobuje zhoršení kvality povrchu.

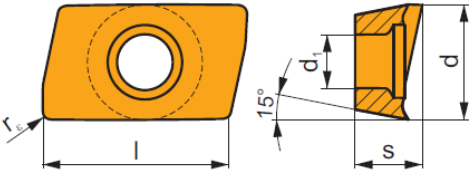
### 3.1 Frézování hliníkové slitiny

V praktické části bakalářské práce sledujeme vliv úpravy řezné hrany (mikrogeometrie) na trvanlivost VBD, především sledujeme vznik adhezivního opotřebení, které je vždy majoritní nepříznivý činitel při frézování hliníkových slitin. K dispozici máme tři vzorky frézovacích destiček Pramet ADEX 160608FR s utvařečem třísky -FA v materiálové variantě HF7, což je nepovlakovaný slinutý karbid.



Obr. 10 – Frézovací VBD – ADEX 160608FR-FA:HF7

ADEX 16-FA				
	d	d <sub>i</sub>	l	s
1606	16,000	4,50	16,00	6,17

Obr. 11 – Geometrie ADEX 16-FA

Geometrie na Obr.11 je pouze schématická, ve skutečnosti jsou úhly na hřbetu i na čele proměnlivé. Úhel hřbetu se pohybuje od 3°– 20°, kdy na vedlejším ostří je úhel největší. Úhel na čele je pozitivní v rozmezí 14°– 29°. Radius rohu  $r_e$  je v naší testované variantě roven 0,8 mm.

### 3.2 Porovnání technologií úprav řezné hrany

V rámci tohoto experimentu budou testovány dvě možné varianty finální úpravy řezné hrany. Cílem je prokázat, zda a případně jaký vliv budou mít na process obrábění a případně i na finální životnost VBD. Následuje protokol o zkoušce obsahující popis soustavy stroj-nástroj-obrobek, označení obráběného materiálu, dále řezné parametry a popis frézy. Z důvodu urychlení opotřebení je fréza osazena jen jednou VBD.

PRAMET		PROTOKOL ZKUŠEBNÝ O OBRÁBĚNÍ								
		Číslo 913								
		Navazuje na zkoušku								
Úkol	Číslo	059 100	Řešitel		Zapsal					
	Název	ADEX_AL	Datum		Operátor CNC					
Stroj	Typ	FCV 63	Požadavek - popis		Technologie					
	Výkon [kW]	32,0 kW			F					
	Techn.stav	80 %								
Obrobek	Požadovaná drsnost		Posoudit vliv úpravy řezné hrany na zalepování VBD							
	Materiál-Norma	424203.62								
	Skupina	N								
	Pevnost [MPa]									
	Tvrdost HB	122 HB								
	Tvrdost HRC									
Nástroj	Označení	100A08R-S90AD16E-C								
	Poznámka	Průměr	100,0 mm	Počet destiček	1 VBD					
Řezné podmínky	Rezná rychlost [m/min]	$V_c$	450 m/min	Počet záběrů	1					
	Otáčky [ot/min]	$n$	1 432 ot/min	Obráběná délka [mm]	1					
	Posuv [mm/ot]	$f_{ot}$		Hl. zapichování [mm]						
	Posuv [mm/zub]	$f_{zub}$	0,15 mm/zub	Povrchová kúra	N					
	Posuv [mm/min]	$f_{min}$	215 mm/min	Přerušovaný řez	N					
	Hloubka řezu [mm]	$a_p$	3,00 mm	Chladicí kapalina	N					
	Šířka fréz. plochy [mm]	$a_e$		Tuhost soustavy Stroj-Obrobek-Nástroj						
	Stoupání závitu [mm]	$t$		Čas záběru [min]						
Výrobce	Destička	Útvařec	Jakost	Substrát	Povlak	Vzorku	T - Trvanlivost	Arithmetický průměr	K - řeznost	Rozptyl
PRAMET	ADEX160606FR	FA	H7	264	úprava OTEC	1	20,0 min			
PRAMET	ADEX160606FR	FA	H7	264	úprava GRAF	2	20,0 min			
PRAMET	ADEX160606FR	FA	H7	264	bez úprav	3	20,0 min			

Obr. 12 – Protokol DormerPramet

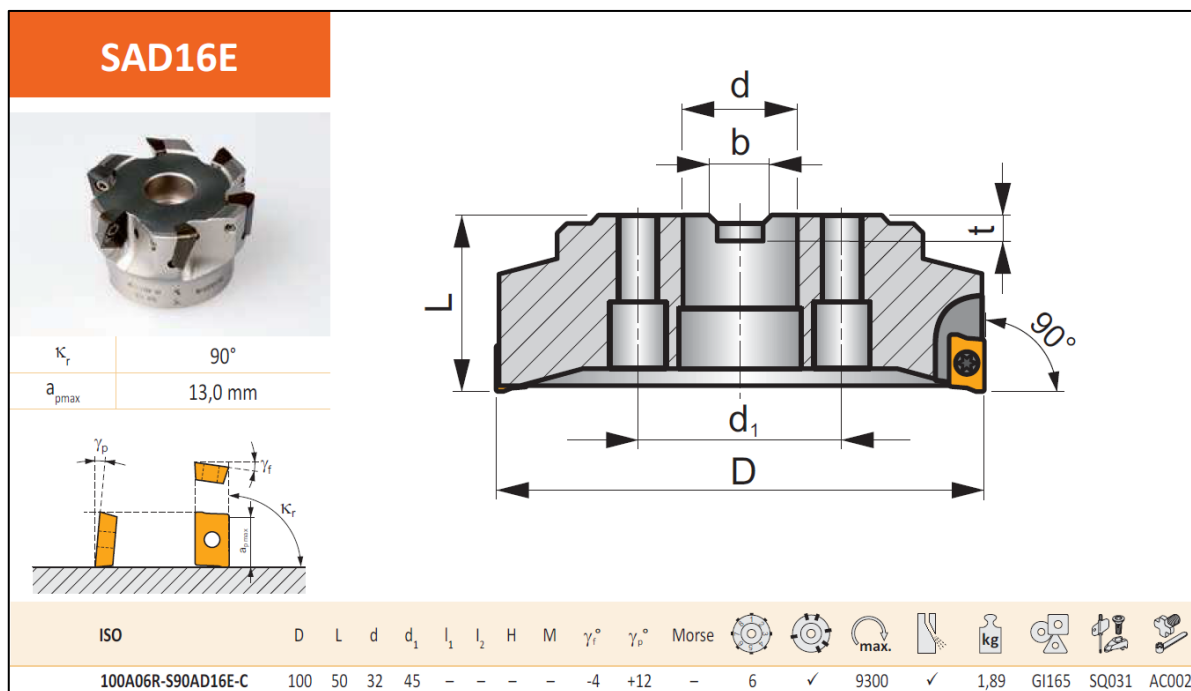
Porovnávání technologie úpravy mikrogeometrie řezné hrany:

1. **OTEC** – jedná se o technologii úpravy řezné hrany omíláním VBD o jemné abrazivo. Dosažené zaoblení hrany je v řádu mikrometrů v závislosti na tvrdosti abraziva, délce vystavení působení a procesní kapalině.
2. **GRAF** – technologie mokrého pískování slouží nejen k zaoblení řezné hrany, ale taky ke snížení tahových zbytkových pnutí. Míra zaoblení řezné hrany závisí na použitém tlaku, abrazivu a procesní kapalině.

## 4 DISKUZE EXPERIMENTŮ

V experimentu sledujeme rozdíly v opotřebení na čele a na hřbetu břitů vždy před započítáním zkoušky (nový břit), ve čtvrté minutě v řezu a po dvaceti minutách v řezu. Vzorek č.1 je ošetřený technologií OTEC, vzorek č.2 je upraven technologií GRAF a vzorek č.3 je bez úprav mikogeometrie řezné hrany (jen leštění na čele a obvodové broušení).

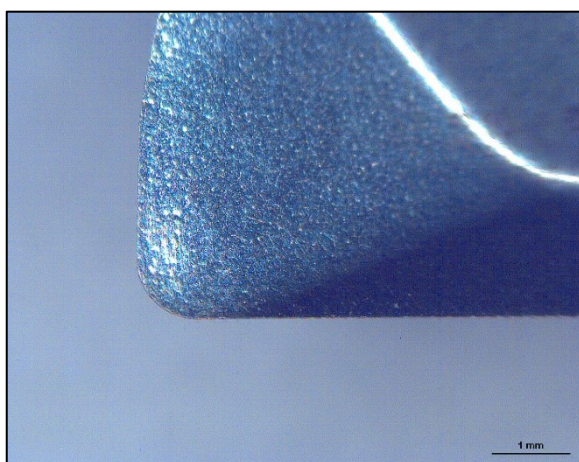
Vybraná fréza 100A08R-S90AD16E-C je vhodná k obrábění hliníkových slitin, protože v kombinaci s destičkami ADEX vytváří pozitivní úhel čela v axiálním i radiálním směru, což snižuje řezné síly a tření na hřbetu hlavního ostří VBD. Kvalitní povrch po čelním frézování zajišťuje hladící vedlejší břit. Délka vedlejšího břitu určuje maximální možný boční posuv při zachování kvalitního povrchu. Fréza je navíc všestranná, lze ji používat ke všem frézovacím operacím, včetně plungingu (odvrtávání), spirálové interpolace a dalším progresivním metodám. Dále umožňuje využití vnitřního chlazení, které je při obrábění nízkotavitelných slitin takřka nezbytné. Při obrábění těchto slitin je s výhodou využíváno vysokých řezných rychlostí, což má za následek vysokou obvodovou rychlost rotujícího nástroje. Z toho důvodu je nutné nástroje vyvažovat, běžně se uvádí nutnost vyvážení nad otáčky  $n = 6000$  ot/min.



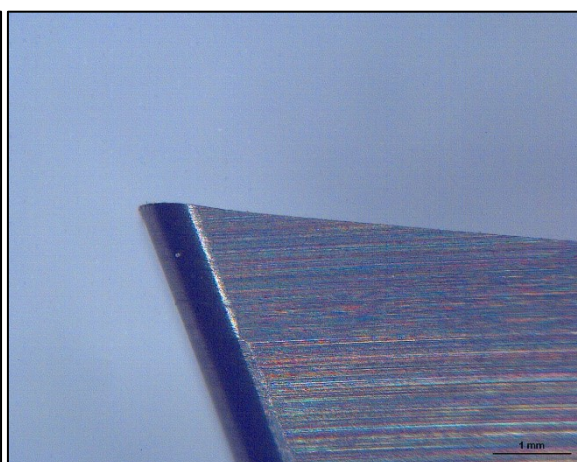
Obr. 13 – Fréza 100A08R-S90AD16E-C



## 4.1 Vzorek č.1 - OTEC

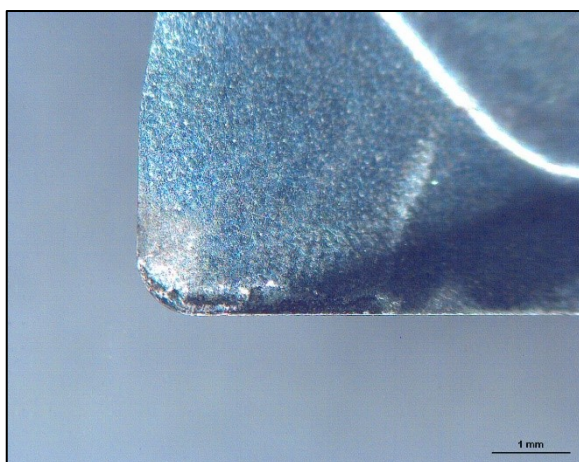


Obr. 14 – Vzorek č.1 - čelo,  $t = 0 \text{ min}$

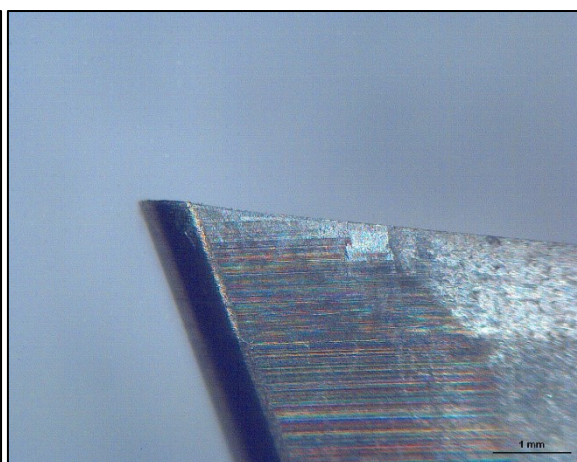


Obr. 15 – Vzorek č.1 - hřbet,  $t = 0 \text{ min}$

Nová VBD, upravená technologií omílání - OTEC

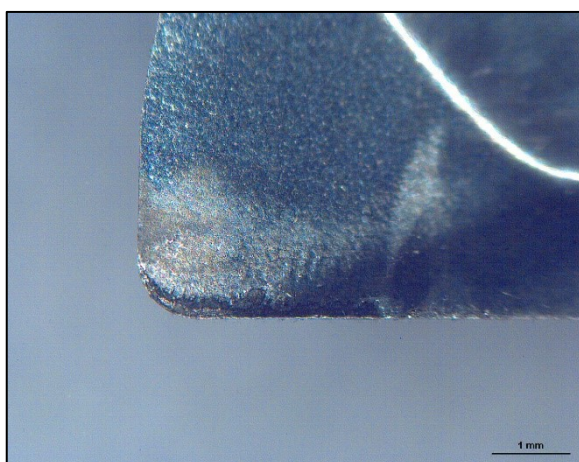


Obr. 16 – Vzorek č.1 - čelo,  $t = 4 \text{ min}$

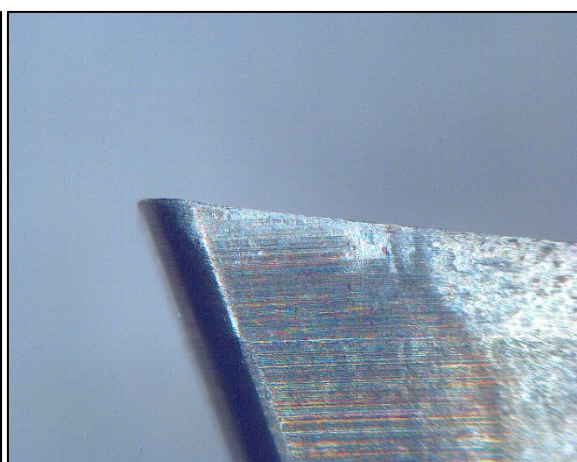


Obr. 17 – Vzorek č.1 - hřbet,  $t = 4 \text{ min}$

Na čele vidíme mírné nárustkování, místy se nárustek odloupl.



Obr. 18 – Vzorek č.1 - čelo,  $t = 20 \text{ min}$

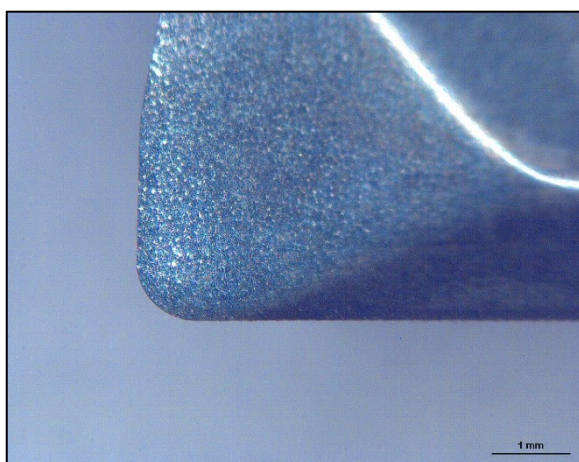


Obr. 19 – Vzorek č.1 - hřbet,  $t = 20 \text{ min}$

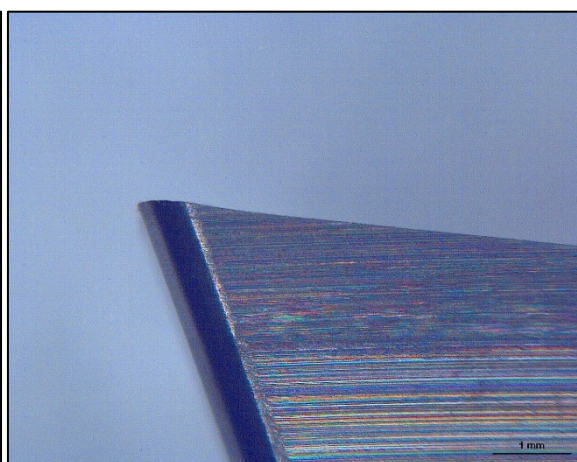
Na čele pokračuje nárustkování, jeho vliv se projevil i na hřbetě.



## 4.2 Vzorek č.2 - GRAF

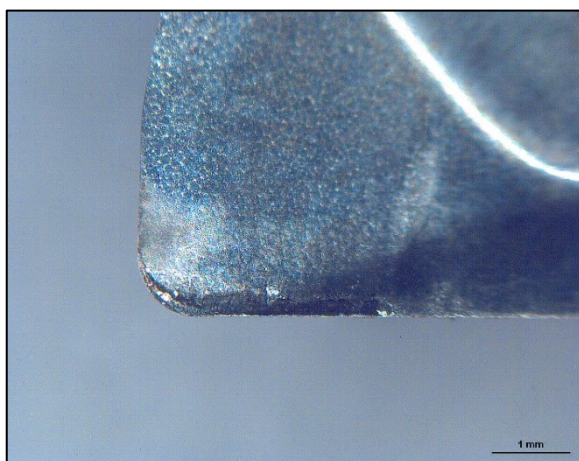


Obr. 20 – Vzorek č.2 - čelo,  $t = 0 \text{ min}$

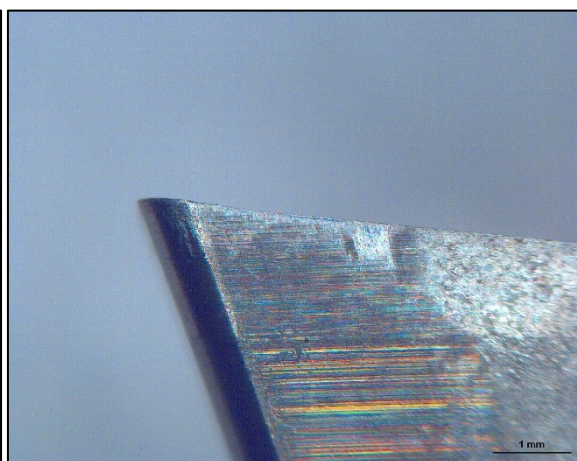


Obr. 21 – Vzorek č.2 - hřbet,  $t = 0 \text{ min}$

Nová VBD otryskaná mokrým pískováním - GRAF

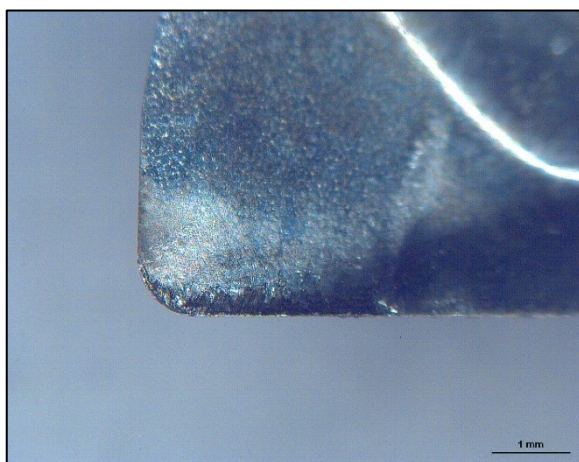


Obr. 22 – Vzorek č.2 - čelo,  $t = 4 \text{ min}$

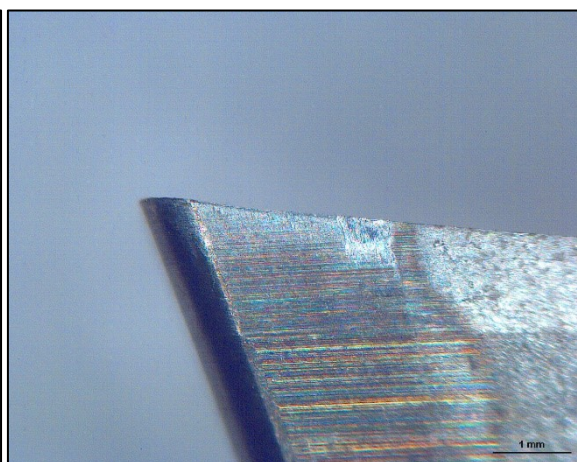


Obr. 23 – Vzorek č.2 - hřbet,  $t = 4 \text{ min}$

Nárůstkování i opotřebení hřbetu se projevuje rychleji než u předchozího vzorku.



Obr. 24 – Vzorek č.2 - čelo,  $t = 20 \text{ min}$

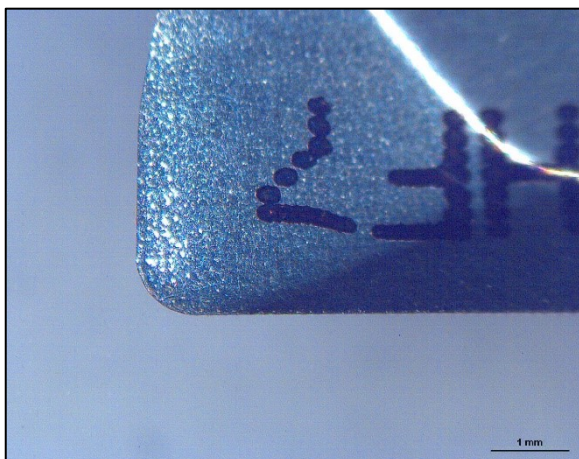


Obr. 25 – Vzorek č.2 - hřbet,  $t = 20 \text{ min}$

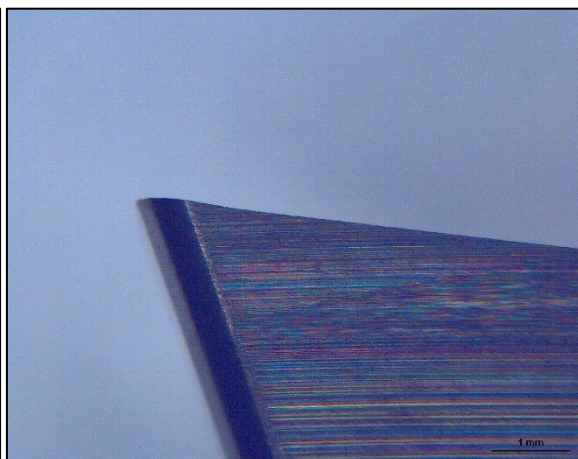
Nárustek je většího rozsahu, lze předpokládat zhoršující se povrch obrobku.



### 4.3 Vzorek č.3 – Bez úpravy mikrogeometrie řezné hrany

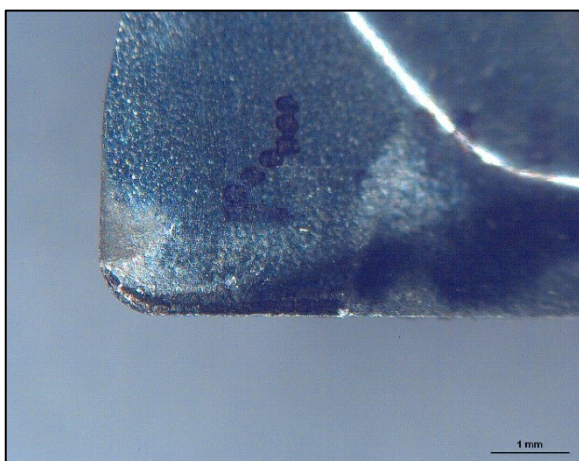


Obr. 26 – Vzorek č.3 - čelo,  $t = 0 \text{ min}$

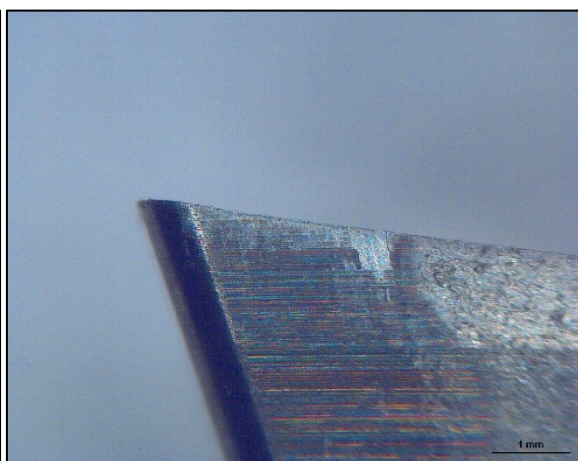


Obr. 27 – Vzorek č.3 - hřbet,  $t = 0 \text{ min}$

Nová VBD bez dalších úprav mikrogeometrie řezné hrany, leštěná a obvodově broušená.

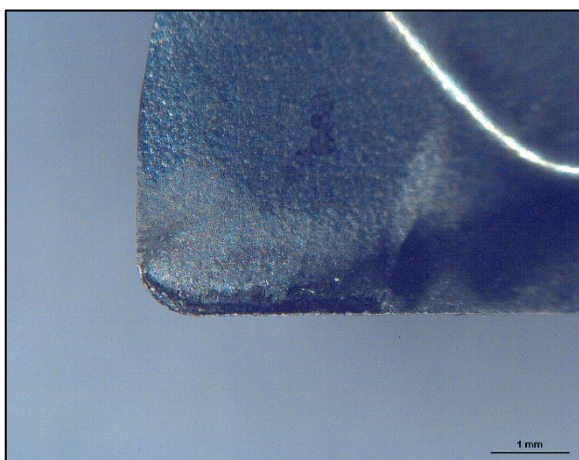


Obr. 28 – Vzorek č.3 - čelo,  $t = 4 \text{ min}$

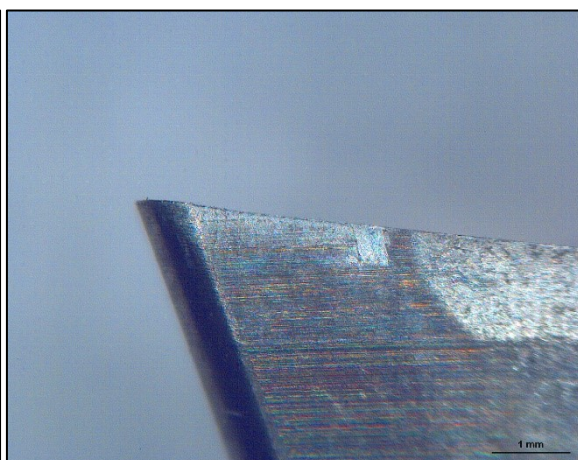


Obr. 29 – Vzorek č.3 - hřbet,  $t = 4 \text{ min}$

Nárůstek tvoří úzkou linii blízko řezné hrany, zatím nedochází k odlupování.



Obr. 30 – Vzorek č.3 - čelo,  $t = 20 \text{ min}$



Obr. 31 – Vzorek č.3 - hřbet,  $t = 20 \text{ min}$

Nárůstek se rozmazal do větší plochy, nejsou znatelná další opotřebení.




#### **4.4 Zhodnocení vlivu úpravy mikrogeometrie**

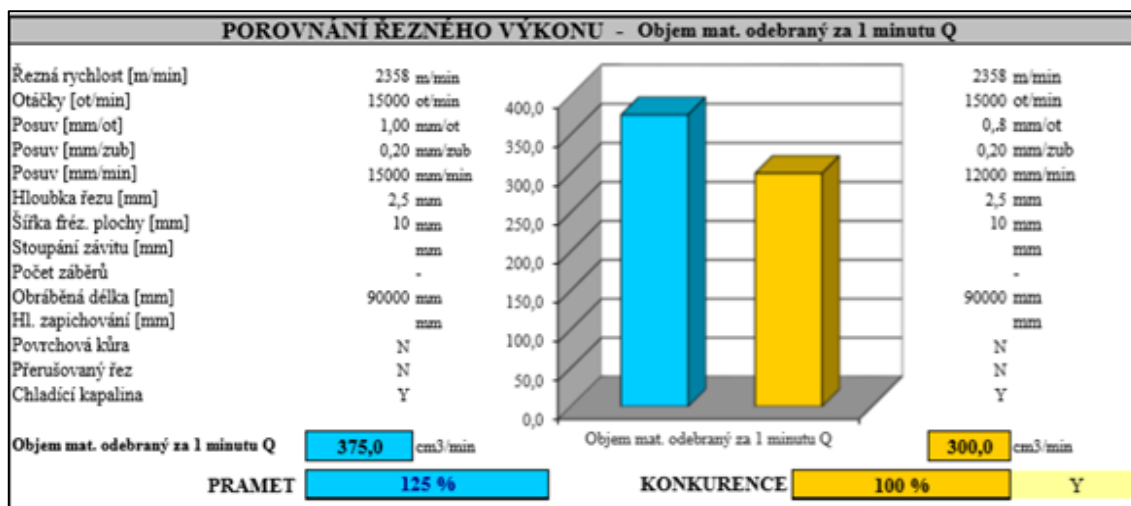
Po dvaceti minutách v řezu nevidíme znatelné rozdíly v opotřebení. V dnešní době je běžná doba použití jedné destičky v lůžku cca dvacet minut, při frézování hliníkových slitin až jedna hodina. Vzhledem k zanedbatelnému vlivu technologií OTEC a GRAF na trvanlivost VBD bylo vyhodnoceno, že není nutné dané technologie používat, prodlužovat tím procesní čas a zbytečně zvyšovat výrobní cenu VBD. Momentálně společnost DormerPramet produkuje destičky s geometrií vhodnou k obrábění hliníkových slitin výhradně metodou č.3 – leštění čela a obvodové broušení hřbetu.

## 5 TECHNICKO-HOSPODÁŘSKÉ ZHODNOCENÍ

V druhé části porovnáváme trvanlivosti a ekonomické parametry standartní VBD ADEX 11T308FR-AL z materiálu 264633 značky DormerPramet, s konkurenční VBD stejné velikosti, vyrobené ze srovnatelného materiálu a s podobnou geometrií utvařeče třísky. Označení VBD DormerPramet není standartní, v době testu byl utvařeč ve vývoji.

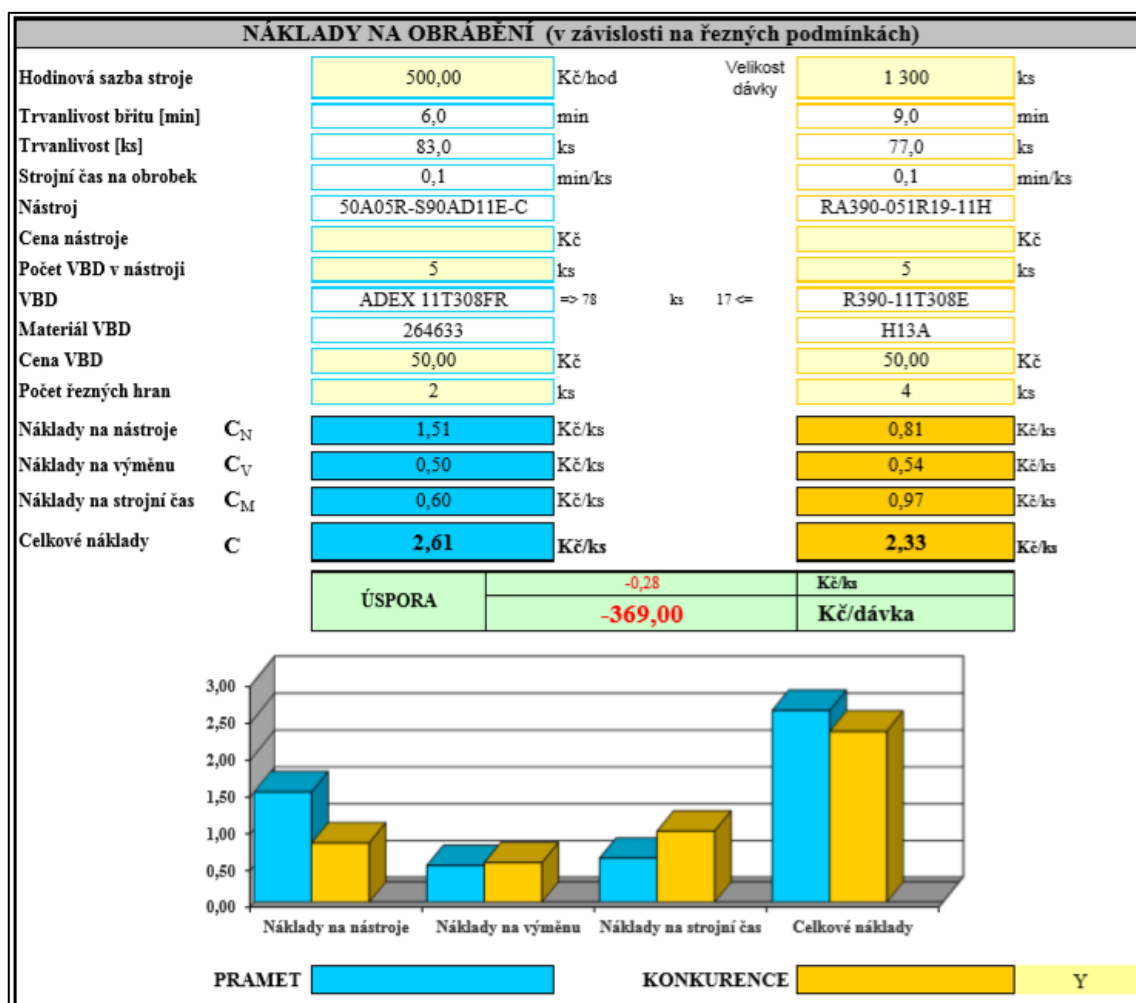
DORMER PRAMET		PROTOKOL O OBRÁBĚNÍ											
Firma		No. 1 02 124										Navazuje na zkoušku	
Technik		Pinto		Místo zkoušky									
Datum													
Stroj	Typ	CNC		Popis						Technologie		F	
	Výkon [kW]	100 kW		EXECUTAR FRESAMENTO EM DESBASTE DO BLOCO EM 05 FACES.									
	Techn.stav	100 %											
Obrobek	Název	BASE											
	Požadovaná drsnost												
	Obr. materiál-Norma	AL2024/AL2618											
	Skupina	N											
	Pevnost [MPa]	-											
Tvrdość HB	-												
Tvrdość HRC	-												
Chemické složení													
	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	Mo	W	Co	Ti	Fe	Al	
Nástroj	Výrobce	PRAMET (Pramet news)						Poznámka					
	Označení	50A05R-S90AD11E-C						RA390-051R19-11H					
	VBD	ADEX 11T308FR						R390-11T308E					
	Utvařeč	AL						NL					
	Jakost SK	264633						H13A					
Pracovní podmínky	Řezná rychlost [m/min]	$v_c$	2 358 m/min				2 358 m/min						
	Otáčky [ot/min]	$n$	15 000 rev/min				15 000 rev/min						
	Posuv [mm/ot]	$f_{rev}$	1,00 mm/rev				0,8 mm/rev						
	Posuv [mm/zub]	$f_{tooth}$	0,200 mm/tooth				0,200 mm/tooth						
	Posuv [mm/min]	$f_{min}$	15 000 mm/min				12 000 mm/min						
	Hloubka řezu [mm]	$a_p$	2,50 mm				2,50 mm						
	Šířka fréz. plochy [mm]	$a_e$	10,00 mm				10,00 mm						
	Stoupání závitu [mm]	$t$											
	Počet záběrů	$i$											
	Obráběná délka [mm]	$l$	90000,0 mm				90000,0 mm						
	HL. zapichování [mm]												
	Povrchová kůra		N				N						
	Přerušovaný řez		N				N						
Chladicí kapalina		Y				Y							
Výhodnocení	Drsnost												
	Trvanlivost bříty [min]	$T_{min}$	6,0 min				9,0 min				67 % KONKURENCE		
	Trvanlivost [ks]	$T_{pcs}$	83,00 pcs				77,00 pcs				108 % KONKURENCE		
	VB [mm]	$VB$	0,05 mm				0,05 mm				100 % KONKURENCE		
	Křehká destrukce bříty		N				N						
	Tvorba nárustku		N				N						
	Plast.deformace špičky		N				N						
	Druh třísky		9				9						
Tuhost soustavy Stroj-Obrobek-Nástroj		1				1							
Poznámka	MAIOR VANTAGEM PERCEBIDA PELO PROGRAMADOR DENILSON, FOI A REDUÇÃO DE RUÍDO, MENOR EM TORNO DE 50%, FORMAÇÃO DO CAVACO ÓTIMA, CAVACO FINO E LEVE, E A POSSIBILIDADE EXECUÇÃO EM RAMPA OQUE GEROU GANHO DE TEMPO NO PROCESSO.												
	Successful Stories		N		Technické hodnocení zkoušky						OK		
	Zahrnout zkoušku do celkového vyhodnocení:												Y
Příloha													

Obr. 32 – ADEX 11 DormerPramet vs konkurence



Obr. 33 – Porovnání řezného výkonu

Testování dvou VBD probíhalo za stejných záběrových podmínek, avšak fréza DormerPramet má pět zubů, zatímco konkurenční fréza má jen čtyři. Z toho důvodu je první fréza produktivnější, a dokonce ekonomičtější i při nižší životnosti VBD. Díky vyšší produktivitě zvládne obrobít více kusů za jeden trvanlivostní cyklus než konkurence.



Obr. 34 – Náklady na obrábění

## 6 ZÁVĚR

Obrobitelnost neželezných slitin závisí zejména na fyzikálních a mechanických vlastnostech daného materiálu. V této bakalářské práci se zabýváme důležitým aspektem při obrábění hliníkových slitin a tím je adhezní opotřebení na čele nástroje, které je nežádoucí.

Cílem této bakalářské práce bylo posouzení vlivu úpravy mikrogeometrie řezné hrany při frézování hliníkových slitin. Pro experiment byla použita nepovlakovaná frézovací destička z firmy DormerPramet – ADEX 160608FR s utvařečem třísky -FA v materiálové variantě HF7.

Experiment byl vytvořen ze tří vzorků vyměnitelných břitových destiček. Pro úpravu mikrogeometrie řezné hrany první testované destičky byla využita technologie OTEC, což je technologie omílání VBD o jemné abrazivo. Pro úpravu druhého vzorku byla využita technologie GRAF nebo-li technologie mokrého pískování. Třetí vzorek vyměnitelné břitové destičky byl pouze leštěn a obvodově broušen, bez dalších úprav mikrogeometrie řezné hrany.

Vyměnitelné břitové destičky byly zkoumány na trvanlivost, zejména však na adhezivní opotřebení. Z experimentu vyplívá, že není potřeba dále upravovat mikrogeometrii VBD a tím zvyšovat náklady na výrobu. A proto v současnosti společnost DormerPramet nabízí VBD s úpravou mikrogeometrie řezné hrany – leštění čela a obvodové broušení hřbetu.

V závěru práce se provádělo porovnání dvou břitových destiček pro obrábění hliníkové slitiny konkurenčních společností z hlediska řezného výkonu a nákladů na obrábění. Výsledkem porovnávání při stejných záběrových podmínkách byla fréza společnosti DormerPramet i při nižší životnosti VBD produktivnější a ekonomičtější než fréza konkurenční společnosti.

## **Poděkování**

Chtěla bych moc poděkovat společnosti DormerPramet, zejména tedy panu Ing. Romanu Maršíčkovi za vstřícný přístup při konzultacích. Dále bych chtěla poděkovat panu Bc. Petru Blahákovi, za jeho čas a spoustu věcných připomínek. Na závěr mé poděkování směřuje k panu doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. za jeho vedení, odborné rady a připomínky při vypracovávání této práce.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. O Společnosti. *Dormer Pramet* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://www.dormerpramet.com/cs-cz/company/our-company>
2. HUMÁR, A. *Technologie I, Technologie obrábění - 1. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Brno: Fakulta strojního inženýrství - VUT v Brně, 2003 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
3. ČEP, R. *Technologie II - 1. díl* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta\\_Technologie\\_II\\_1dil.pdf](http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf)
4. DORMER PRAMET, s.r.o. Šumperk: Dormer Pramet, s.r.o. Uničovská 2. *Teorie obrábění – pokročilý*, 2012. 98 s.
5. KOCMAN, K a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2
6. MÜLLER, M. a Z. PETRŽELA. *Strojírenská technologie část I. - II.* 2010. 121 s.
7. ROUČKA, J. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: CERM, 2004, 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
8. *Laboratorní průvodce: Periodická tabulka* [online]. In: . [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.labo.cz/mft/pt.htm>
9. *Základy tepelného zpracování kovů*. [online prezentace]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/9453357-Zaklady-tepelneho-zpracovani-kovu.html>
10. *Značení neželezných kovů* [online obrázek]. In: . [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/znaceni-nezelezných-kovu/>

11. *Aluminium* [online obrázek]. In: . [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://images-of-elements.com/aluminium.php>
12. RICHARDS, J. *Aluminium: Its history, occurrence, properties, metallurgy and applications, including its alloys*. [online]. In: . Henry Carey Baird & Co., 1896 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://archive.org/details/cu31924003633751>
13. DEVILLE, S. *De l'aluminium, ses propriétés, sa fabrication*. Paris: Mallet-Bachelier. [online]. In: . Paris, 1859 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=rCoKAAAAIAAJ&printsec=frontcover&hl=cs#v=onepage&q&f=false>
14. LOSERTOVÁ, M. *Neželezné kovy v moderní době* [online]. In: . Ostrava, 2014 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: [http://katedry.fmfi.vsb.cz/637/soubory/USMM\\_skripta.pdf](http://katedry.fmfi.vsb.cz/637/soubory/USMM_skripta.pdf)
15. *Materiál a jeho značení* [online prezentace]. In: . [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2021068/>
16. PODRÁBSKÝ, T., JULIŠ, M. a NĚMEC, K. *Neželezné kovy a jejich slitiny I* [online]. In: . [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2894537/>
17. *Hliník a slitiny hliníku* [online]. In: . [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: [https://www.opi.zcu.cz/download/Slitiny09\\_10.pdf](https://www.opi.zcu.cz/download/Slitiny09_10.pdf)
18. *Hliník a jeho slitiny* [online]. In: . [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: [http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_bakalari/NOM2/NOM2.htm](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/NOM2/NOM2.htm)
19. MICHNA, Š. a kolektiv, *Encyklopedie hliníku*. Adin, Prešov, 2005. 700 s. ISBN 80-89041-88-4
20. MACEK, K. a ZUNA, P. *Nauka o materiálu*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-010-1507-6.
21. PTÁČEK, L. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4248-3.

22. *Dural* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/dural>
23. *Copper* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://images-of-elements.com/copper.php>
24. *Historie mědi* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://copperalliance.eu/cz/o-m%C4%9Bdi/historie>
25. *Neželezné slitiny* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: [https://www.opi.zcu.cz/download/nezelezne\\_slitiny\\_2012.pdf](https://www.opi.zcu.cz/download/nezelezne_slitiny_2012.pdf)
26. PODRÁBSKÝ, T., NĚMEC K. a JULIŠ, M. *Neželezné kovy a jejich slitiny II* [online prezentace]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2545869/>
27. *Slitiny zinku: popis, struktura a vlastnosti* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://cs.ilovevaquero.com/obrazovanie/85405-cinkovye-splavy-opisanie-struktura-i-svoystva.html>
28. *Zubní implantáty* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.diente.cz/sluzby/zubni-implantaty>
29. *Slitiny hliníku. Ehlinik* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/prilohy/zakladni-technicke-informace.pdf>
30. *Total Materia* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Home&LN=EN>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Periodická tabulka prvků <sup>8</sup> .....	15
Obr. 2 – Značení neželezných slitin dle ČSN 42 0055 <sup>10</sup> .....	18
Obr. 3 – Hliník <sup>11</sup> .....	19
Obr. 4 – Druhy slitin hliníku <sup>15</sup> .....	20
Obr. 5 – Alobal-čistý hliník <sup>11</sup> .....	23
Obr. 6 – Odlitek z hliníkové slitiny <sup>11</sup> .....	23
Obr. 7 – Měď <sup>23</sup> .....	24
Obr. 8 – Odlitky ze slitiny zinku <sup>27</sup> .....	31
Obr. 9 – Titanová zubní protéza <sup>28</sup> .....	31
Obr. 10 – Frézovací VBD - ADEX 160608FR-FA:HF7 .....	35
Obr. 11 – Geometrie ADEX 16-FA .....	35
Obr. 12 – Protokol DörmPramet .....	36
Obr. 13 – Fréza 100A08R-S90AD16E-C .....	37
Obr. 14 – Vzorek č.1 - čelo, t = 0 min .....	38
Obr. 15 – Vzorek č.1 - hřbet, t = 0 min ....	38
Obr. 16 – Vzorek č.1 - čelo, t = 4 min .....	38
Obr. 17 – Vzorek č.1 - hřbet, t = 4 min ....	38
Obr. 18 – Vzorek č.1 - čelo, t = 20 min .....	38
Obr. 19 – Vzorek č.1 - hřbet, t = 20 min ..	38
Obr. 20 – Vzorek č.2 - čelo, t = 0 min .....	39
Obr. 21 – Vzorek č.2 - hřbet, t = 0 min ....	39
Obr. 22 – Vzorek č.2 - čelo, t = 4 min .....	39
Obr. 23 – Vzorek č.2 - hřbet, t = 4 min ....	39
Obr. 24 – Vzorek č.2 - čelo, t = 20 min .....	39
Obr. 25 – Vzorek č.2 - hřbet, t = 20 min ..	39
Obr. 26 – Vzorek č.3 - čelo, t = 0 min .....	40
Obr. 27 – Vzorek č.3 - hřbet, t = 0 min ....	40
Obr. 28 – Vzorek č.3 - čelo, t = 4 min .....	40
Obr. 29 – Vzorek č.3 - hřbet, t = 4 min ....	40
Obr. 30 – Vzorek č.3 - čelo, t = 20 min .....	40
Obr. 31 – Vzorek č.3 - hřbet, t = 20 min ..	40
Obr. 32 – ADEX 11 DörmPramet vs konkurence .....	42
Obr. 33 – Porovnání řezného výkonu .....	43
Obr. 34 – Náklady na obrábění .....	43

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Součinitele obrobitelnosti a korespondující třídy obrobitelnosti <sup>5</sup> .....	14
Tabulka 2 – Mechanické vlastnosti slitin hliníku <sup>29</sup> .....	32
Tabulka 3 – Mechanické a fyzikální vlastnosti vybraných materiálů <sup>30</sup> .....	33